

სპილენძის არქეომეტალურგია მთიან
კოლხეთში (ლექხუმი-ქვემო სვანეთი):
გადნიდან ლითონამდე

რუსუდან ჩაგელიშვილი • ნინო სულავა • ნანა რეზესიძე
თამარ ბერიძე • ბრაიან გილმორი • ნიკა ტატუაშვილი

**THE ARCHAOMETALLURGY OF COPPER IN THE MOUNTAIN
REGIONS OF COLCHIS (LECHKHUMI-KVEMO SVANETI), GEORGIA:
FROM ORE TO METAL**

Rusudan Chagelishvili • Nino Sulava • Nana Rezesidze • Tamar Beridze • Brian Gilmour • Nika Tatuashvili

FR-19-13022 პროექტის საბოლოო ანგარიში
THE FINAL REPORT OF THE PROJECT FR-19-13022

თბილისი / 2020-2023 / Tbilisi

შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდი

SHOTA RUSTAVELI NATIONAL SCIENCE FOUNDATION OF GEORGIA



საქართველოს ეროვნული მუზეუმი

GEORGIA NATIONAL MUSEUM



თბილისი

2023

სარჩევი

შესავალი	4
მიზანი	5
1.საველე სამუშაოები	
1.1.გეოლოგიური სადაზვერვო სამუშაოები	6
– დოღურაშის მადანგამოვლინება	8
– ოფიტარა-ოყურეშის მადანგამოვლინება	10
– მდინარეების მურისდელის, მოქაულისდელისა და ძულურისდელის ხეობები	16
– მდინარე რიონის ხეობა, კორვაში	20
– გეოლოგიური სამუშაოების შედეგები	21
1.2.არქეომეტალურგიული სადაზვერვო სამუშაოები	24
– ჭიქელაში	25
– ოყურეში	31
– შავბინულა	35
– გვიმბრალა	36
– ოფიტარა	37
– ლითონის სადნობი სახელოსნოების პალინოლოგია	38
– ლითონის სადნობი სახელოსნოები ფიზიკურ რუკაზე	41
2. კამერალური სამუშაოები	
2.1.წიდების და ტექნიკური კერამიკის ტიპოლოგიური კვლევა	43
2.2. პეტროგრაფიული ანალიზი	
– წიდების პეტროგრაფია	50
– წიდების პეტროგრაფიული ანალიზის შედეგები	56
– მინერალიზებული ქანების პეტროგრაფია	60
– ქანების პეტროგრაფიული ანალიზის შედეგები	67
2.3.რადიოკარბონული (C14) ანალიზი.....	68
2.4.რენდგენოფლოურესცენტული სპექტრომეტრული (XRF) ანალიზი	69
2.5.ატომურ-აბსორბციული ანალიზი (AAS).....	70
2.6.პალინოლოგიური ანალიზი	73
– არტეფაქტების პალინოლოგიური ანალიზის შედეგები	74
– თანამედროვე ნიადაგის პალინოლოგიური ანალიზი	80
– გარემო პირობები და ადამიანის საქმიანობა გვიანბრინჯაოს ხანაში	85
2.7.ნახშირების მაკრობოტანიკური ანალიზი	89
შედეგები.....	90
გამოყენებული ლიტერატურა	179

შესავალი

გეოლოგიური მონაცემების მიხედვით საქართველოში სპილენძის, დარიშხანის, ანთიმონიტის და პოლიმეტალური 200-ზე მეტი საბადო და მათი ზედაპირული გამოსავალია ცნობილი. თითქმის ყველა მთავარ საბადოზე დადგენილია პრეისტორიული მადნის მოპოვებისა და დამუშავების კვალი. კერძოდ, ასეთ რეგიონებს განეკუთვნება აფხაზეთის, რაჭის, კახეთის (ალაზნის ზემო წელი) მადანმოპოვებელ-მეტალურგიული ძეგლები (კავკასიონი) და ბოლნისი-დმანისის და აჭარა-გურიის ძეგლები (მცირე კავკასიონი). აღნიშნულ ტერიტორიაზე თავმოყრილია სპილენძის გამადნების აფხაზეთის, სვანეთის და რაჭის ზონები. ეს უკანასკნელნი წარმოადგენენ კავკასიონის ქედის გასწვრივ დასავლეთიდან აღმოსავლეთისკენ წყვეტილად და გაბნეულად გავრეცელებულ მცირე საბადოთა სისტემებს.

საკვლევის ობიექტი, საქართველოს მთიანი რეგიონი (ლეჩხუმი-ქვემო სვანეთი), აქ აღმოჩენილი ლითონის არტეფაქტების - წარმოების ნარჩენების (წიდეები, ტექნიკური კერამიკა და სხვა) და დასრულებული არტეფაქტების (ზოდები, განძები, ანთროპომორფული და ზომომორფული ფიგურები, საბრძოლო იარაღი და სამეურნეო იარაღი) გვიან ბრინჯაოს კოლხური კულტურის ნაწილად და უძველესი სპილენძ-ბრინჯაოს მეტალურგიის წარმოშობის ერთ-ერთ უმთავრეს კერადაა მიჩნეული (Сахарова, 1966). ადრეული სამთო საქმიანობის კვალი უფრო მეტად გვხვდება ჩრდილოეთით, მაღალმთიან ზონაში (ზემო რაჭა-ზემო სვანეთი), ზღვის დონიდან 2500-3000 მეტრზე, და ნაკლებად არის ცნობილი ქვედა ზოლში, კავკასიონის სამხრეთ ფერდობებზე, ზღვის დონიდან 1000-2000 მეტრზე (ლეჩხუმი-ქვემო სვანეთი) (გობეჯიშვილი, 1962).

2013-2015 წლებში მიმდინარე საქართველოს ეროვნული მუზეუმის სადაზვერვო ექსპედიციებისას აღმოჩნდა გვიანი ბრინჯაოს ხანის ადრე უცნობი სპილენძის სადნობი სახელოსნოები, რაც პირდაპირი მინიშნება იყო პრეისტორიული სპილენძის მოპოვება-დამუშავების სიახლოვეზე. 2016-2018 წლებში არქეოლოგიური კვლევები და საწყისი ეტაპის გეოლოგიური დაზვერვითი სამუშაოები ჩატარდა რუსთაველის ფონდის მიერ დაფინანსებული პროექტის (#FR-16-217128) ფარგლებში. მოხდა სავარაუდოდ გვიან ბრინჯაოს ხანის სპილენძის 20-ზე მეტი სადნობი სახელოსნოს ადგილმდებარეობის დაფიქსირება, რუკაზე დატანა და დოღურამის ჯგუფში შემავალი ძეგლების გათხრა (სურ. 39). მონაპოვრები მოიცავდა მადნის ნაწილობრივ დამდნარ ფრაგმენტებს, ლითონის სადნობი ქურის ნაშთებს, წიდეებს, ტექნიკური კერამიკის ფრაგმენტებს. გეოქიმიური ანალიზებით დადასტურდა, რომ ყველა ამ

ძეგლზე დნებოდა სპილენძი. დოლურაში I-ის რადიოკარბონულმა დათარიღებამ კი აჩვენა, რომ იგი ფუნქციონირებდა დაახლოებით ჩვ. წ. XIII-IX საუკუნეებს შორის პერიოდში (Rezesidze et al., 2018).

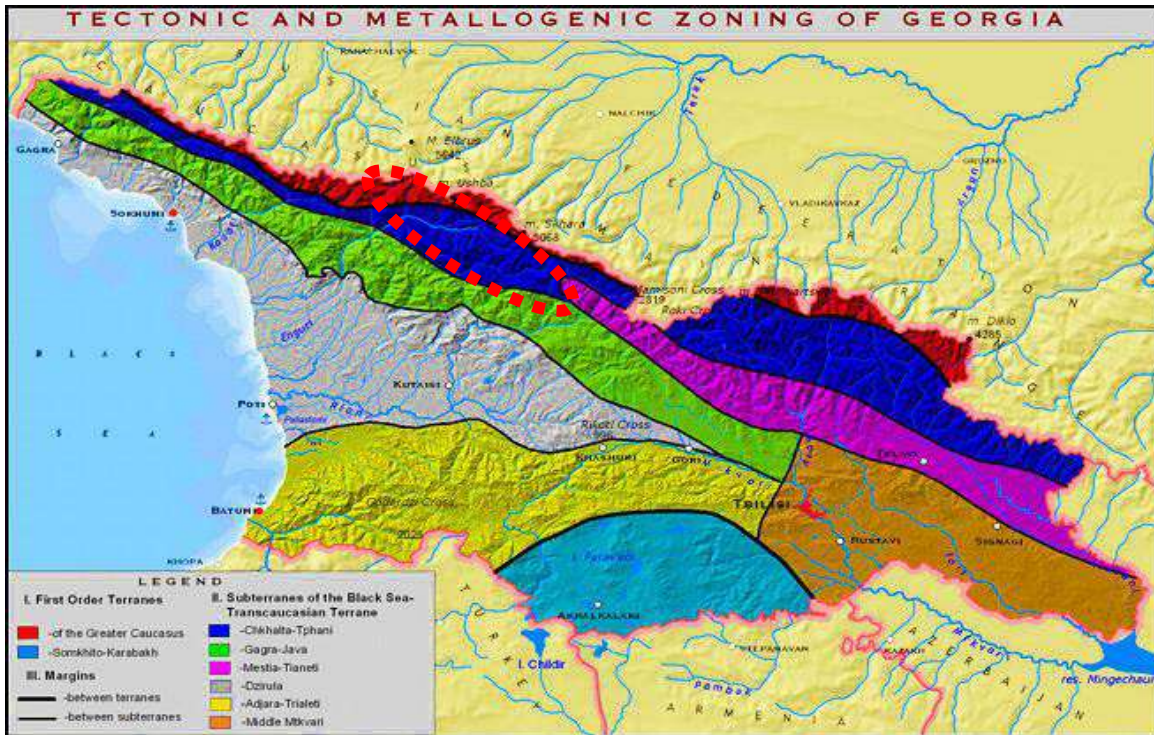
მიზანი

წარმოდგენილი არქეომეტალურგიული პროექტის მიზანი ახლად აღმოჩენილი და ჯერ კიდევ შეუსწავლელი მთიან კოლხეთის (ლექხუმი-ქვემო სვანეთი) გვიან ბრინჯაოს ხანის სპილენძის დნობის ინდუსტრიის გამოვლენა, გამოკვლევა და დათარიღებაა; მადნის მოპოვება-დამუშავებასა და ლითონის დნობას შორის კავშირის დადგენა; თანამედროვე ანალიტიკური მეთოდების გამოყენებით მადანშემცველი ქანების, მეტალურგიული ნარჩენებისა და არტეფაქტების შესწავლა; ადგილობრივად წარმოებული სპილენძის ნედლი მასალის წყაროს, უძველესი მადარობის გამოვლენა, დადგენა და დახასიათება.

რეგიონის გეოლოგიასა და მეტალოგენიაზე არსებული მონაცემების ანალიზით დგინდება, რომ ქვემო სვანეთსა და ლექხუმში დღემდე გამოვლენილი ყველა არქეომეტალურგიული ძეგლი თავმოყრილია კავკასიონის სამხრეთ ფერდის მეტალოგენიურ სარტყელში სადაც სპილენძის, დარიშხანის, ანთიმონიტის და სხვა პოლიმეტალური საბადოები და მათი ზედაპირული გამოსავლება ცნობილი (Природные ресурсы Грузинской ССР, Том I 1958; ჯანელიძე 1965; Геология СССР, Том X.1974; Твалчრელიძე და სხვ., 1982). ყველა არსებული საბადო/მადანგამოვლინება რეგიონალური ტექტონიკური რღვევების გასწვრივ მდებარეობს და უკავშირდება ქვედა/შუა იურულ ვულკანურ და ვულკანოგენურ-დანალექ წყებებს და მათ გამკვეთ ჰიპაბისურ მაგმურ სხეულებს (ბერიძე 1983).

საკვლევი რეგიონი კავკასიონის სამხრეთ ფერდის მეტალოგენიური სარტყლის – ქვემო სვანეთისა და რაჭა-ლექხუმის მადნიანი კვანძის არეალშია მოქცეული (სურ. 1), სადაც წარსულში გამადნების გავრცელების ზონებში 1907-1990 წლებში მრავალი საძიებო და აგეგმვითი სამუშაოებია ჩატარებული. აღნიშნული სამუშაოების ანგარიშების დასკვნების მიხედვით, ტერიტორიაზე არსებული მცირე საბადოთა სისტემები თანამედროვე გადმოსახედიდან მადნის მოპოვებისათვის ნაკლებად შესაფერისი და არარენტაბელურია. თუმცა, 30-წლიანი პაუზის შემდეგ, 2021 წელს გაიცა ლიცენზია რცხმელურის მადნიანი ველის მეტალოგენიური კვლევაზე მათი სამრეწველო პოტენციალის შეფასების მიზნით. პროექტით საკვლევი ძეგლი სადნობი სახელოსნოების უმეტესობა სწორედ რცხმელურის მადნიან ველშია კონცენტრირებული. ლექხუმი-ქვემო სვანეთის მიდამოებში მადნის ადრეული

პერიოდის ექსპლუატაციის არსებობის შესახებ არაერთ გეოლოგიურ ანგარიშშია მითითებული. მიუხედავად იმისა, ამ მიმართულებით ჩატარებული გეოარქეოლოგიური სამუშაოები ნაკლებად არის ცნობილი.



სურ. 1. საქართველოს ტექტონიკური და მეტალოგენური დარაიონების რუკა (ე. გამყრელიძე და სხვ., 1998 წ.)

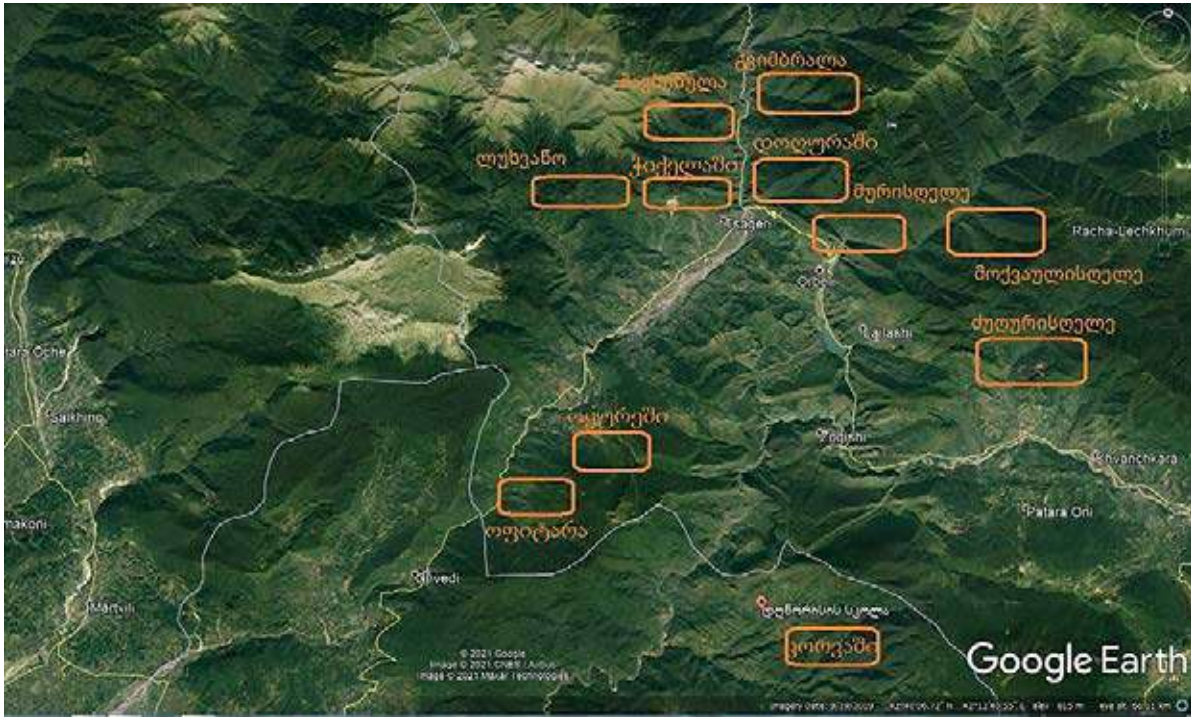
პროექტის ფარგლებში ჩატარებული კვლევები ეფუძვნება: საველე-სადაზვერვო ექსპედიციებსა და კამერალურ-ლაბორატორიულ კვლევებს.

1. საველე სამუშაოები

1.1. გეოლოგიური სადაზვერვო სამუშაოები

გეოლოგიური სამუშაოები მოიცავდა პრეისტორიული სადნობი სახელოსნოების მიმდებარედ გავრცელებული ქანების გეოლოგიურ შესწავლას, არსებული მინერალიზაციების გამოვლენას და შეცვლილი ზონების ნიმუშების დასინჯვა/შეგროვებას ანალიზების ჩასატარებლად; სამთო გამონამუშევრების აღმოჩენის მიზნით რელიეფის ფორმებზე დაკვირვებას;

2020-2022 წლებში ქვემო სვანეთისა და ლეჩხუმის ტერიტორიაზე საველე-სადაზვერვო გეოლოგიური სამუშაოები ჩატარდა სოფლების დოღურაშის, ოფიტარას (მდ. რთხმელებისღელე, მდ. შავიღელე), ოყურემის (ადგ. დიდლოდეები და სათიბები), რცხმელურის (ადგ. შავბინულა), გვიმბრალას (ადგ. ჟიბე მოლი), გვესოს (ადგ. ჭიქელაში), დღნორისას (ადგ. კორვაში), ლუხვანოს (ადგ. გვერდისთავი) მიდამოებსა და მდინარეების მურისღელეს, მოქვაულისღელესა და ძულურისღელეს ხეობებში (სურ. 2).



სურ. 2. პროექტის ფარგლებში ჩატარებული სამუშაოების არეალის სატელიტური ფოტო

ზემოთჩამოთვლილი ადგილები მდინარე ცხენისწყლის ხეობაში, ლეჩხუმის ქედის დასავლეთ კიდის სამხრეთ ფერდობებზე, ეგრისის ქედის სამხრეთ-აღმოსავლეთ კიდეზე და ხვამლის კირქვული მასივის ჩრდილო-დასავლეთ კალთებზე, ზღვის დონიდან 700-1500 მეტრ სიმაღლეებზე მდებარეობს. აქ საკმაოდ რთული და დანაწევრებული რელიეფია, მრავალი ღრმა ხეობით, ხშირი ფართოფოთლოვანი ტყითა და ქვეტყით დაფარული ციცაბო ფერდობებით (<60-70°). არსებული ბუნებრივი პირობები ძალიან ართულებს სამთო-სადაზვერვო სამუშაოებს მინერალიზირებული უბნების, ძველი არქეომეტალურგიული ობიექტების, თუ, სამთო გამონამუშევრების გამოვლენას.

საკვლევ ტერიტორიაზე, გეოლოგიური დაზვერვების შედეგად, გამოვლინდა ორი მკვეთრად მინერალიზებული უბანი, სადაც მეტ-ნაკლებად შესაძლებელია გამადნების პროცესებზე დაკვირვება და მინერალიზებული/ლითონის შემცველი ნიმუშების აღება ლაბორატორიული კვლევებისთვის. ესენია: (1) ლეჩხუმის უკიდურეს ჩრდილოეთით მდინარე დოღურაშისღელის ხეობა და (2) უკიდურესი სამხრეთით, სოფლების ოფიტარა-ოყურემის მიდამოების მადანგამოვლინება.

(1) დოღურაშის მადანგამოვლინება

დოღურაშის პოლიმეტალების მადანგამოვლინება ცაგერის მუნიციპალიტეტის უკიდურეს ჩრდილოეთით, მდინარე ცხენისწყალის მარჯვენა შენაკადის მდინარე დოღურაშის ხეობაში, ზღვის დონიდან 700-1200 მ. სიმაღლეზე მდებარეობს, რცხმელურის მადნიანი ველის დასავლეთით 4-5 კმ-ში. ამ მიდამოებშია აღმოჩენილი დოღურაშის ჯგუფის არქეომეტალურული ობიექტები (დოღურაში I, II, და III), რომელთა ასაკი რადიოკარბონული მეთოდით ძვ. წ. XIII-IX საუკუნეებით განისაზღვრა. პირველი ცნობები დოღურაშის პოლიმეტალური მადანგამოვლინების შესახებ გ. ბარკალაიას 1940 წლის ანგარიშშია მოცემული; 1952-1961 წლებში გეოლოგიის ინსტიტუტის ჯგუფი, ვ. გვახარიას ხელმძღვანელობით, იკვლევდა რცხმელურის საბადოთა ჯგუფს, რომელშიც შედის დოღურაშის მადანგამოვლინება (ჩხიკვიშვილი 1951; ივანიცკი., 1954; ჩხეიძე., 1958-59 და სხვა). ბოლო ცნობები დოღურაშის მადნიანი ზონის შესახებ გვხვდება თ. ჯანელიძის (1965) სადისერტაციო ნაშრომში. მათი ანგარიშებიდან ჩანს, რომ დოღურაშის მადანგამოვლინების პერსპექტივა არ არის ნათელი და მარღვების/ლინზების მცირე მანძილებზე გამოსოფლის გამო დოღურაშის მადანგამოვლინებას პრაქტიკული ინტერესი არ აქვს.

დოღურაშის მადანგამოვლინების მიდამოების გეოლოგიურ აგებულებაში მონაწილეობას იღებს ზედა ლიასური ქვიშიან-ფიქლებიანი წყება (შრეთა დაქანება სამხრეთ დასავლური, >70-80°), რომლებიც გაკვეთილია კვარცპორფირებისა და დიაბაზების ინტრუზივებით (დაიკებითა და სილებით). დოღურაშისა და მის შენაკადების ხეობებსა და ფერდობებზე დელუვიური და ალუვიური ნალექები ფართოდაა გავრცელებული და დაფარულია ხშირი მცენარეული საფარით, რაც ხელს უშლის ქანთა ბუნებრივ გამოსავლებზე დაკვირვებას.

მდინარე დოღურაშისღელის მარცხენა ნაპირზე, პორფირული კვარც-დიორიტული (საბჭოთა ტერმინოლოგიით-დიაბაზი) სხეულისა და ქვედა იურული ქვიშაქვების კონტაქტის ზოლში დავაფიქსირეთ ჰიდროთერმულად შეცვლილი ქანების ზონა. იქვე, დოღურაშისღელეს მესამე მარცხენა შენაკადის ხეობაში მდებარეობს საბჭოთა

პერიოდში პოლიმეტალური მადნების საძიებო სამუშაოებისას გაყვანილი შტოლნა (42°40'41.4"N, 42°46'58.7"E h=743მ). იგი პორფირული კვარც-დიორიტებისა და ქვიშაქვების კვეთის ზონაშია (აღმავალ ჭრილში იგი კვეთს ფიქლებს) გაყვანილი. შტოლნის შესასვლელსა და მიმდებარე ზონაში, დაახლოებით 20-30 მეტრის არეალში ქანები ძლიერ არის შეცვლილი –გაკვარცებული, გამოჟანგული და დამსხვრეულია (ეს უკანასკნელი უმეტესად პერიფერიაზე შეინიშნება) (სურ. 3). შეცვლილ ზონაში დაფიქსირდა ცალკეული მადნეული მარღვაკები, ბუდობები და ზოგან მცირე ზომის ლინზები, რომელიც კონტაქტის გასწვრივ მცირდება და ბოლოს ისოლება. მათი სიმძლავრე 0,10 სმ-დან 15 სმ-მდეა. მარღვაკებში მადნეული მინერალებიდან გვხვდება ძირითადად პიროტინი და მცირე რაოდენობით ქალკოპირიტი და სფალერიტი, იშვიათად გალენიტის ჩანართები.



სურ. 3. საბჭოთა პერიოდში გაყვანილი შტოლნა და მისი მიმდებარე ადგილები, სადაც მინერალიზირებული ქანები დაისინჯა. სოფ. დოღურაშის ჩრდილო-აღმოსავლეთი

მარღვის ძირითადი არამადნეული მინერალია კვარცი, იშვიათად გვხვდება კალციტიც. დაიკასთან კონტაქტის ზონაში ქვიშაქვები და ფიქლები პირიტიზირებულია. საკვლევ ადგილას (დ. წ. # 677) ჩანს, რომ გამადნება

არათანაბარია, სუსტი და წარმოადგენს ღია ნაპრალების ჰიდროთერმალური ხსნარებით ამოვსების ტიპს.

დოღურაშის მინერალიზაციის შესწავლისთვის და დოღურაშის ჯგუფის არქეომეტალურგიულ ობიექტებზე აღმოჩენილ არტეფაქტებთან შესადარებლად საბჭოთა პერიოდში გაყვანილი შტოლნისა და მის მიდამოებში არსებული მინერალიზებული ქანები შეგროვდა სხვადასხვა ანალიზებისთვის. (იხ. თავი: კამერალური სამუშაოები; დოღურაშის ნიმუშების აბრევიატურაა – Dog/D).

(2) ოფიტარა-ოყურეშის მადანგამოვლინება

სოფელი ოფიტარა ლეჩხუმის უკიდურესი სამხრეთით, ქუთაისი-ცაგერი საავტომობილო გზიდან დაახლოებით 4 კმ-ში, ცხენისწყლის მარცხენა ნაპირზე მდებარეობს. ტერიტორია დოღურაშის მიდამოების მსგავსად აგებულია შუა იურული - ბაიოსის პორფირიტული წყების ქანებით, რომელსაც თანხმობით ცვლის ცარცული პერიოდის კარბონატული ნალექები.

ინფორმაცია სოფელ ოფიტარას მიდამოებში სპილენძის მადანგამოვლინებების არსებობისა და ამ ნედლეულის ბრინჯაოს მეტალურგიაში გამოყენების შესახებ ჯერ კიდევ 1907 წლიდან გვხვდება გეოლოგ გ. ბართოლომეევის ანგარიშში. ოფიტარას მადანგამოვლინებებს იკვლევდნენ: 1910-11 წლებში ა. ჩიკვაიძე; 1919 წელს ლ. კონიუშევსკი; 1931 წელს ა. კალანდაძე; 1932-33 წლებში გ. ტოგონიძე, რომლის ანგარიშის მიხედვით ოფიტარაში გამოყოფილია მეტნაკლებად პერსპექტიული მლაშე ფერდის, შავლელეს, თეთრი წყაროსა და თეთრი ღელეს უბნები. სპილენძის ყველა არსებული მადანგამოვლინება არაპერსპექტიულად იქნა მიჩნეული, რადგან თითქმის ყველა მათგანი წარმოადგენდა პირიტით ღარიბ მადნებს, იშვიათად ქალკოპირიტის მინარევით; 1933 წელს სოფელ ოფიტარაში, ბაიოსურ პორფირიტულ წყებაში, ნ. ბეჟანიშვილმა აღწერა სპილენძის სამი მადანგამოვლინება, რომელიც ძირითადად პირიტით, ქალკოპირიტით, ბორნიტითა და მარკაზიტითაა წარმოდგენილი. ნ. ბეჟანიშვილის დასკვნის თანახმად, ყველა მადანგამოვლინება არასამრეწველო მნიშვნელობისაა.

ზემოთ ჩამოთვლილი თითქმის ყველა ანგარიშის ავტორი აღნიშნავს, რომ რაიონი მდიდარია წიდეების გროვებით, რომლებიც სპილენძის დნობის უძველესი პროცესის შედეგი უნდა ყოფილიყო. ოფიტარას მიდამოებში აღმოჩენილ წიდეებს ყველაზე მეტი ყურადღება გეოლოგმა პ. თოფურიაშვილმა მიაქცია. 1938 წელს გამოქვეყნებულ ნაშრომში -

„რაჭისა და ლეჩხუმის წიდეები“ მან გამოთქვა მოსაზრება, რომ რაჭა-ლეჩხუმის ტერიტორიაზე სპილენძის დნობის ბაზა არსებობდა, სადაც მოპოვება კუსტარულ ხასიათს ატარებდა. მისი აზრით, აქ არსებული მცირე ზომის მადანგამოვლინებები საკმარისი იყო ადგილობრივი მოსახლეობის საჭიროებების დასაკმაყოფილებლად. პ. თოფურია აღნიშნავს, რომ წიდეების პოვნის ადგილები ძირითადად ბაიოსური პორფირიტული სერიის გავრცელების ზოლთანაა დაკავშირებული და იგი იძლევა რეკომენდაციას უფრო დეტალური ძებნა-ძიებითი სამუშაოების ჩატარების შესახებ.

მდ. შავიდელე (სოფ. ოფიტარა)

მდინარე შავიდელე სათავეს ხვამლის მასივის დასავლეთ კალთაზე იღებს. სოფელ ოფიტარაში იგი შუა იურული (ბაიოსური) ასაკის პორფირიტებში, ტუფებში, ტუფბრექჩიებში, ტუფქვიშაქვებში, ქვიშაქვებსა და ფიქლებში მოედინება. მდ. შავიდელეს საკმაოდ ვიწრო და ხშირი მცენარეული საფარით დაფარული ხეობა აქვს, რომელიც რამდენიმე ადგილას დამეწყრილია და ჩახერგილია დიდი ლოდებით, რაც ფაქტიურად შეუძლებელს ხდის მდინარის ხეობაში და მის ნაპირებზე არსებულ ბუნებრივ გამოსავლებზე დაკვირვებას (სურ. 4).



სურ. 4. მდინარე შავიდელეს ხეობა, სოფელი ოფიტარა

მიუხედავად ამისა, რამდენიმე ადგილას მოხერხდა მინერალიზირებული უბნების დაფიქსირება; ბაზალტებისა და კვარცხანის დიორიტის სხეულის კონტაქტის ზოლში ($42^{\circ}30'27.5''N$, $42^{\circ}38'39.1''E$, $h=475m$.) არსებული ქანები ძლიერ არის შეცვლილი, დამსხვრეული, დაბრექჩირებული. ვლინდება ქანთა ინტენსიური შეცვლის შემდეგი პროცესები: ქლორიტიზაცია (ჰიდროთერმული ფლუიდების მოქმედების შედეგად პიროქსენების გარდაქმნა ქლორიტებად), ეპიდოტიზაცია (პლაგიოკლაზის გადასვლა ეპიდოტში), პელიტიზაცია, რომელიც პლაგიოკლაზის გათიხების შედეგია და

გამადნებულ უბნებთან ახლოს უფრო ინტენსიურია, პირიტიზაცია და სერიციტიზაცია. მსხვრევის ზონაში ძარღვებში არსებული სიციხეები ამოვსებულია მეორადი მინერალებით: სულფიდებით - ქალკოპირიტით, ქალკოზინით, პირიტითა და რკინის ჰიდროქსიდებით (სურ. 5). აღნიშნული ადგილიდან შეგროვდა მადნის შემცველი და მინერალიზებული ქანის ნიმუშები ლაბორატორიული კვლევებისთვის.

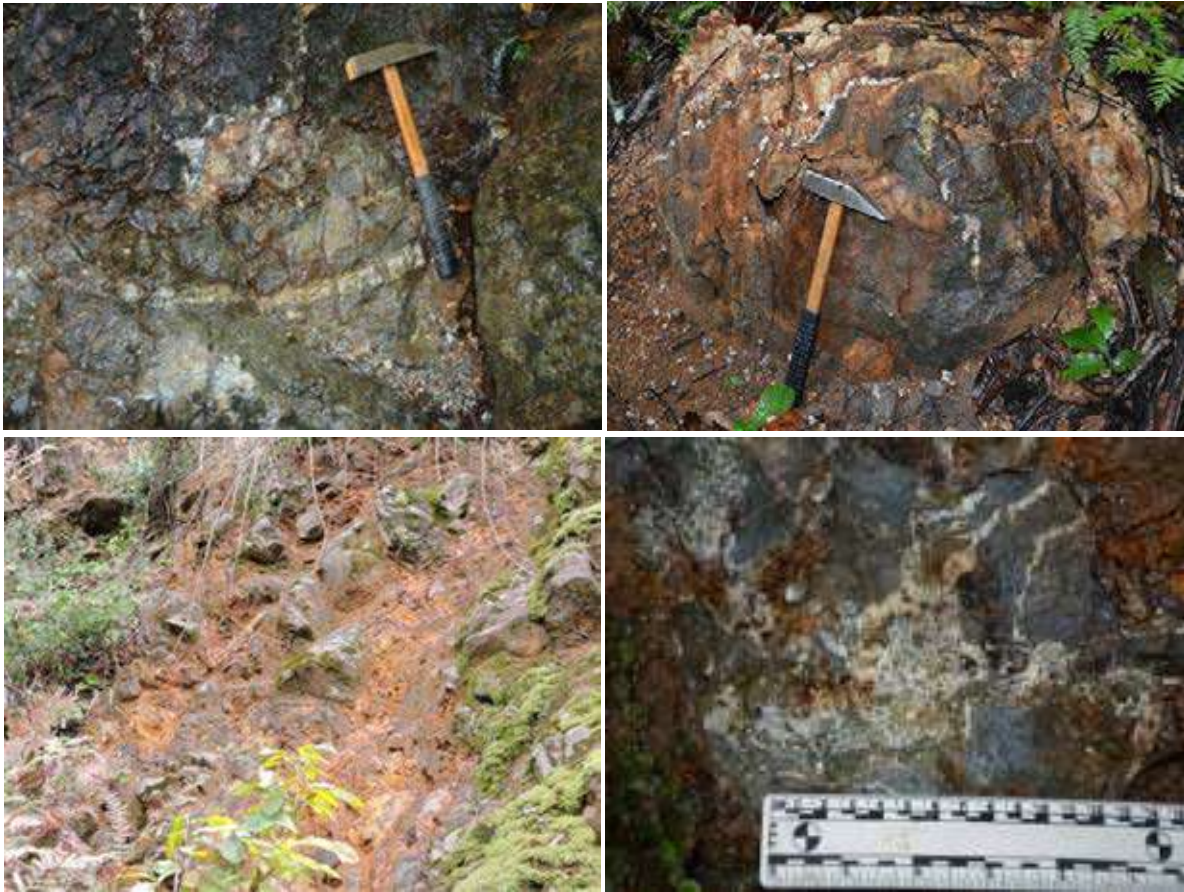


სურ. 5. ინტენსიურად შეცლილი, მინერალიზირებული და დაბრექირებული ქანები მდინარე შავილელეს ხეობაში

მდ. რთხმელებისღელე (სოფ. ოფიტარა)

2017 წელს, სოფელ ოფიტარას შესასვლელში, მდინარე რთხმელებისღელეს ვიწრო ხეობაში, საავტომობილო გზიდან 100 მეტრში მდებარე ჩანჩქერთან ახლოს სამი სამთო გამონამუშევარი დაფიქსირდა (306316 N; 4708054 E; h=394). სამთო გამონამუშევრები

გაჭრილია იურულ ასაკის დაბრექჩირებულ, ინტენსიურად მინერალიზირებულ, შეცვლილ დიაბაზებში. ქანები უმეტესად გაქლორიტებულია, გვხვდება ლიმონიტიზირებული უბნები, დასერილია მრავალი კალციტისა და კვარცის ძარღვით, სადაც ჩანს მადნეულ მინერალთა - ქალკოპირიტის, პირიტის და გალენიტის ჩანართები (სურ. 6);



სურ. 6 ა) შეცვლილი, მინერალიზირებული ქანები; ბ) და გ) კალციტისა და კვარცის ძარღვები მეტალთა ჩანართებით; რთხმელების ღელე

2020 წლის საველე სამუშაოებისას მდინარე რთხმელებისღელის ხეობაში ერთმანეთთან ახლოს მდებარე სამი სამთო გამონამუშევარის (სურ. 7) შესწავლით დაადგინდა, რომ სამი მაღაროდან ერთი, (#1), რომელიც მდინარის მარჯვენა ნაპირზე კალაპოტიდან 0.7 მეტრ სიმაღლეზე მდებარეობს ტიპური საბჭოთა პერიოდის შტოლნაა - მაღალი, უსწორმასწორო შესასვლელით, შიდა კუთხოვანი კედლებითა და ჭერით, რომელიც ამონალით აფეთქების შედეგად მიიღება (17x 1.5x1,8მ.). #1 მაღარო

მკვეთრად განსხვავებულია მის მოპირდაპირე მხარეს, მდინარის მარცხენა ნაპირზე, კალაპოტიდან 2,5 მეტრ სიმაღლეზე, ერთმანეთისგან 4 მეტრის დაშორებით მდებარე # 2 და # 3 მაღაროებისაგან. მათი შესასვლელი (გარე კონტური) მრგვალია, გლუვზედაპირიანი კედლებით და მცირე სიმაღლით. # 2 მაღარო (3x2,3X1,1მ.) თითქმის ჭერამდე, მდინარის მიერ წყალუხვობის დროს შემოტანილი სედიმენტებითა (მოყვითალო და ღია ჟანგისფერი მსხვილმარცვლოვანი მინერალიზირებული ქვიშა) და ზემოდან ჩამოშლილი, გამოფიტული/დაშლილი ქანითაა ამოვსებული. მის გვერდით მდებარე #3 მაღაროს (27x2X1,1-1,8.მ.) შესასვლელი ანალოგიურია # 2-ის - მრგვალი, ერთგვაროვანი გლუვი ზედაპირითა და მცირე სიმაღლით, რომელიც სიღრმეში 1, 5 მეტრის შემდეგ რადიკალურად იცვლება. მაღაროს კედლების ფორმა ხდება კუთხოვანი და იმატებს სიმაღლე. რაც გვამლევს საფუძველს ვივარაუდოდ, რომ გასულ საუკუნეში, ძველი მაღარო შემდგომი გამოყენების მიზნით ამონალით აუფეთქებიათ.



სურ. 7. სამი სამთო გამონამუშევარი მდინარე რთხმელების ღელეში (ოფიტარა)

ზემოთაღნიშნული მონაცემები გვაფიქრებინებს, რომ # 2 და # 3 მაღაროები აგებულებით პრეისტორიული ხანის მაღაროების მსგავსია, რომელთა ანალოგებიც

არსებობს (სურ. 8), საიდანაც მადნის ექსტრაქცია სავარაუდოდ ცეცხლისა და პრიმიტიული იარაღებით ხორციელდებოდა (Hauptmann 2007). ძლიერი მინერალიზაციისა და ჰუმიდური გარემოს გამო მადაროს შემავსებელი სედიმენტი ერთგვროვან მასადაა ქცეული. აღნიშნული პირობების გამო შეუძლებელია მადაროს კედლებზე მადნის მოპოვების კვალი შენარჩუნებულიყო. ამას გარდა, მთის მდინარის სეზონური წყალუხვობის შედეგადაც აღნიშნული მადაროები პერიოდულად ირეცხება, რაც ამცირებს ამ მადაროებში პრეისტორიული კვალის ნახვის შესაძლებლობას.



ა



ბ



გ



დ

სურ. 8. ტიპიური მრგვალი სიდრუეები, რომელიც მადნის მოპოვებისთვის ქანზე ცეცხლის გამოყენების შედეგად წარმოიქმნება. ა) Mauk E - ავსტრია, ძვ. წ. VIII ს.; ბ) ბრინჯაოს ხანის

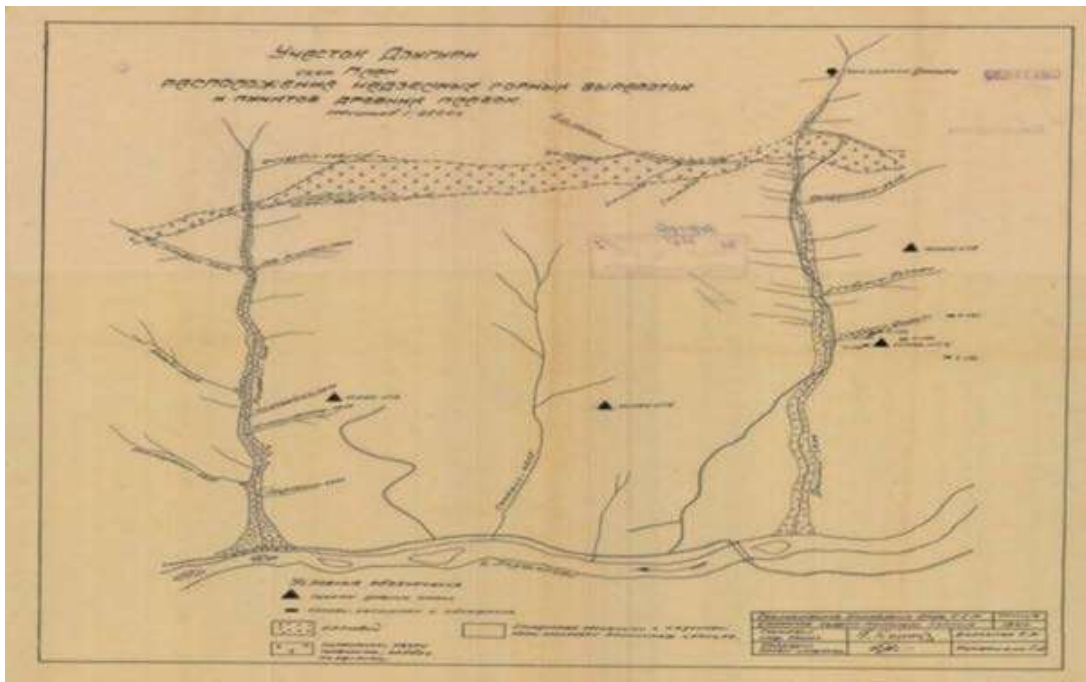
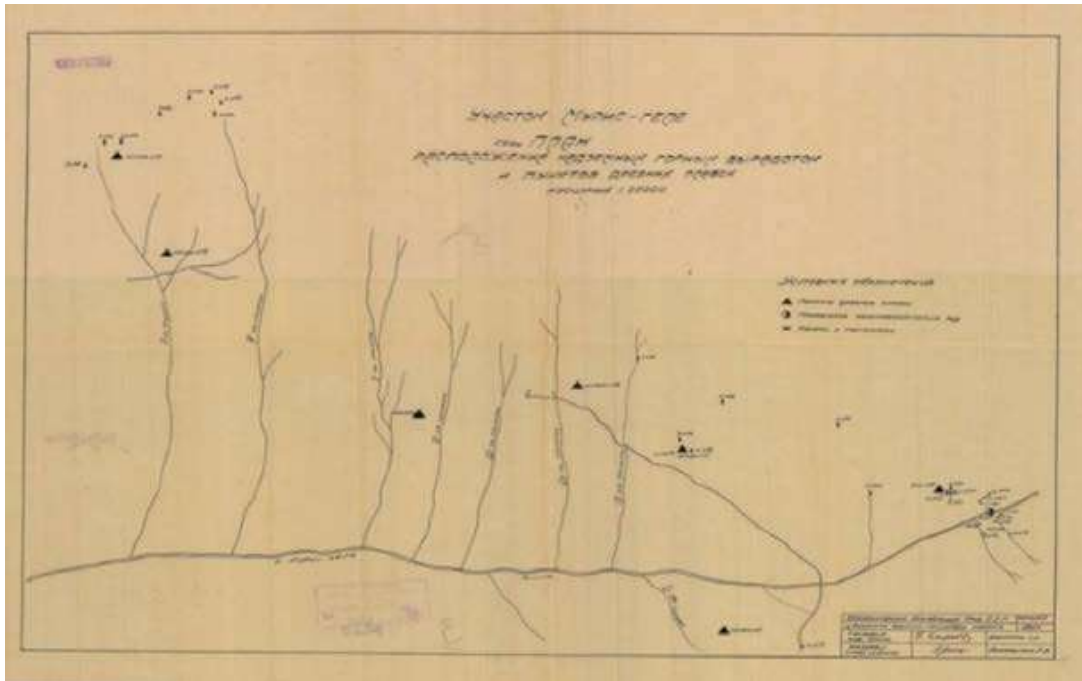
მალარო, კუნძული როსი (ირლანდია); რთხმელების ღელეს სამთო გამონამუშევარი #2 გ)
გაწმენდამდე; დ) გაწმენდის შემდეგ

სამივე სამთო გამონამუშევარი დაისინჯა, ასევე მისი მიმდებარე ბუნებრივი გამოსავლებიდან შეგროვდა მინერალიზირებული ქანთა ნიმუშები პეტროქიმიური ანალიზებისთვის (იხ. თავი: კამერალური სამუშაოები; ოფიტარას ნიმუშების აბრევიატურაა – Op).

მდინარეების მურისღელის, მოქაულისღელისა და ძულურისღელის ხეობები

2021 წლის გეოლოგიური-სადიებო სამუშაოები ცაგერის მუნიციპალიტეტის ჩრდილოეთით, მდინარეების მურისღელის, მოქაულისღელისა და ძულურისღელის მიდამოებში ჩატარდა. აღნიშნული მდინარეები სათავეს ლეჩხუმის ქედის დასავლეთ კიდის სამხრეთი ფერდობებზე, ზღვის დონიდან 1700-1500 მეტრზე იღებენ. მდ. მურისღელე მდ. ცხენისწყლის მარცხენა შენაკადია, ხოლო მდინარეები მოქაულისღელე და ძულურისღელე მდ. ლაჯანურის მარჯვენა შენაკადები. მდინარეები ვიწრო ღრმა ხეობაში მოედინება, დამახასიათებელი მკვეთრი ვარდნითა და ზოგიერთ ადგილებში ჩანჩქერებით. აქ გავრცელებულია ქვედა იურულ (ლიასურ) ქვიშიან-ფიქლებიანი სერია და შუა იურული ასაკის ავგიტ-ლაბრადორიანი ტუფბრექჩები და ტუფოგენური ქვიშაქვები. აღნიშნული ტერიტორია დოღურაშის არქეომეტალურული ძეგლების აღმოსავლეთი გაგძელებაა, იქ სადაც ჩვენი ჯგუფი გათხრებს აწარმოებდა და რამდენიმე მინერალიზირებული ზონა გვაქვს დაფიქსირებული და დასინჯული.

განსაკუთრებული ინტერესი გამოიწვია გ. ბარკალაიას 1941 წელს პოლიმეტალურ მადნებზე ჩატარებულმა სადიებო-გეოლოგიურ ანგარიშზე თანდართულმა სქემატურმა რუკებმა, რომელზეც დატანილია უძველესი სადნობი პუნქტები და მადნის სადიებო-სატესტო თხრილები (სურ. 9 ა, ბ). წარსულში ჩატარებული გეოლოგიურ-სადიებო სამუშაოებით ამ მიდამოებში გამოვლენილია დიდ ფართობზე გავრცელებული მცირე მასშტაბის სპილენძ-პოლიმეტალური მადანგამოვლინებები, რომელთაც არასამრეწველო მნიშვნელობისაა.



სურ. 9 ა) მურისღელის სქემატური რუკა; ბ) მდინარეების მოქვაულისღელისა და მულურისღელის სქემატური რუკა. შედგენილია ცაგერის სადაზვერვო-გეოლოგიური პარტიის ინჟინერ-გეოლოგის გ. ბარკალაიას მიერ 1941 წელს. რუკაზე დატანილია ძველი სადნობი პუნქტები (შავი სამკუთხედები) და პოლიმეტალური მადნების გამოვლენის ადგილები

სქემატური რუკის (სურ. 9 ა) მარშრუტის მიხედვით დაზვერვები ჩატარდა მდინარე მურისღელეს ხეობაში - მდ. ფარელისწყლის (მურიღელეს შენაკადი) მიდამოებში (ადგილი კოხილაში) და მდ. მურიღელეს რამდენიმე სხვა უსახელო ღელეში;

მდინარის სათავეებისაკენ სადაც გასული საუკუნის ბოლოს საქონლის საზაფხულო სამოვრები და ასევე სათიბები იყო, რადგანაც ასეთი ადგილებში უფრო მეტი ბუნებრივი გამოსავლების ნახვის შესაძლებლობაა. ჩვენი მცდელობა უშედეგო აღმოჩნდა წიდებისა და მინერალიზირებული უბნების ძებნაში, რადგან ის ადგილებიც კი, სადაც ადრე სამოვრები იყო ამჟამად ახლადამოსული ტყითა და ხშირი მცენარეული საფარითაა დაფარული. მდინარის ფერდობები კი - მძლავრი დელუვიური მასალით (სურ. 10 ა, ბ, გ).



სურ. 10 ა) მდ. მურისლელეს ხეობა, ხედი მურის ციხიდან; ბ) მურისლელეს სათავეები; გ) ძველი სათიბები მურისლელეს სათავეებში, რომელიც ამჟამად ახლაგაზრდა ტყითაა დაფარული

არსებული ბუნებრივი პირობების გამო ნათელი გახდა, რომ ქანთა ბუნებრივი გამოსავლებისა და პრეისტორიული სადნობი ძეგლების აღმოჩენა ძალიან გართულდებოდა. ამიტომ, ნიმუშების დასინჯვა/შეგროვება გადაწყდა სამივე მდინარის ხეობის შედარებით გაშლილ ადგილებში, იქ სადაც მდინარეული/ალუვიური ნალექები გროვდება. მდინარე მურისლელე ყველაზე

განიერი მურის ციხის ძირში, მდინარე ცხენისწყლის შესართავიდან 500-მეტრშია, სადაც მცირედ მინერალიზებული მხოლოდ რამდენიმე ნიმუში შეგროვდა (სურ. 11).



სურ. 11. მდ მურისლელეს ხეობის ალუვიონი, მდ. ცხენისწყლის შესართავთან ახლოს



სურ. 12 ა) მდ. მოქვაულისღელის ხეობა; ბ) მდ. მოქვაულისღელის და მდ. ლაჯანურის შესართავი, სადაც შეგროვდა ნიმუშები (ფოტოს ავტორი ვ. მამიაშვილი)
დაისინჯა მდინარე ძულურისღელეს ალუვიონი. განსაკუთრებით ნაყოფიერი იყო მოქვაულისღელესა და ლაჯანურის შესართავი (სურ. 12), სადაც შეგროვდა მინერალიზირებული ქანთა (ფიქლები, ალევროლითები და კვარცის ძარღვები)

ნიმუშები, რომლებშიც შეუიარაღებელი თვალითაც ჩანს მადნეულ მინერალთა ჩანართები.

მდინარე რიონის ხეობა - კორვაში (5)

მდინარე რიონის ხეობაში, რაჭის ქედის სამხრეთ ფერდზე, სოფელ დღნორისაგან ჩრდილოეთით, ადგილ კორვაშისკენ (319010N; 4705082E; h=987) მიმავალ გზაზე იკრიფება დიდი რაოდენობით სხვადასხვა ზომისა და ფორმის (უმეტესად ოვალური), მაღალი ხვედრითი წონის მქონე კონკრეციები (სურ. 13 ა). მსგავსი კონკრეციები ყოველთვის იწვევდა ინტერესს მოსახლეობაში. არსებობს აზრი, რომ ისინი მეტეორიტული წარმოშობისა, რადგანაც დედამიწის ზედაპირზე დიდხანს ყოფნისას მათი ზედაპირი ბრწყინავს, რის გამოც მეტეორიტის გამლღვალი ქერქის შთაბეჭდილებას ტოვებს (სურ. 13 ბ).

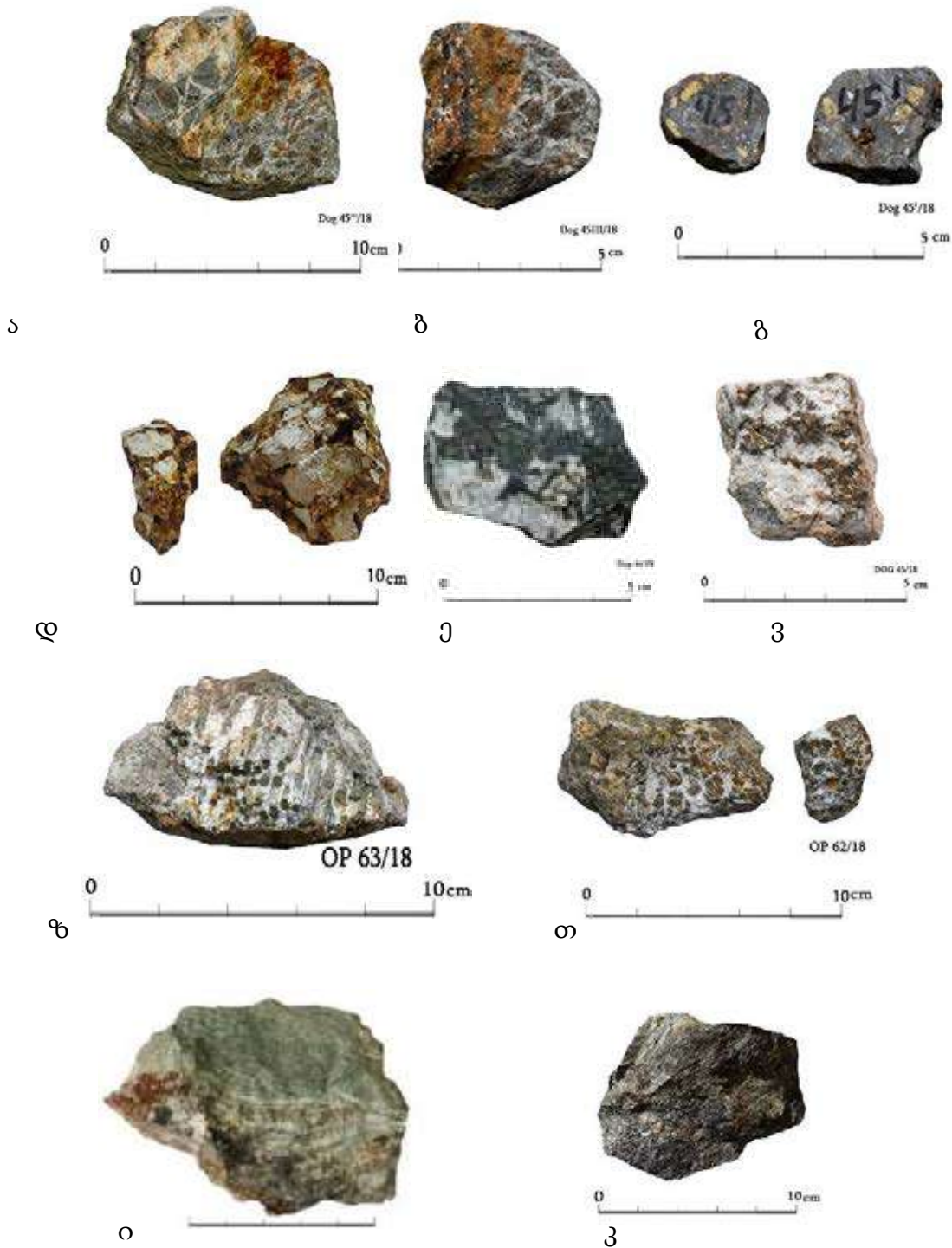


სურ. 13 ა) გზა კორვაშისკენ, სადაც მოფანტულია ოქსიდიზირებული კონკრეციები (აგურისფერი წრეებით მოთითებულია კონკრეციები); ბ) კონკრეციები თიხაში; გ) საანალიზოდ შეგროვებული კონკრეციების ნაწილი; სოფელი დღნორისა

კორვაშის მიდამოებში გავრცელებულია ქვედა ცარცული ნალექები, მეტწილად კირქვები, რომელიც მცირე სიმძლავრის მოწითალო-ყანგისფერი თიხებთან მორიგეობენ. სწორედ ასეთ თიხებში *in situ* მდგომარეობაში ვნახეთ აღნიშნული ჰემატიტის კონკრეციები (სურ. 13 გ). მათი დადგენა პირველ ეტაპზე ხაზის ფერით (წითელი) მოხდა. იგივე დადასტურა პეტროგრაფიულმა კვლევებმაც, ხოლო კონკრეციების გეოქიმიური (AAS) ანალიზით ჩანს, რომ მასში რკინის შემცველობა ძალიან მაღალია - 294 კგ/ტ. (იხ. კამერალური ნაწილი, ცხრილი #3), რაც ნიშნავს, რომ რკინის წარმოებისთვის საუკეთესო ნედლი მასალაა. რკინის (ჰემატიტის) კონკრეციები წარმოიქმნება ზღვის აუზში, რკინით მდიდარი ხსნარებიდან გამოილექვის შედეგად, უმეტესად რკინის სულფიდების - პირიტისა და მარკაზიტის დაჟანგვის გამო.

სადაზვევო გეოლოგიური სამუშაოების შედეგები

საკვლევ ტერიტორიაზე ჩატარებული მცირე მასშტაბის სადაზვევო-გეოლოგიური სამუშაოების შედეგად გამოჩნდა, რომ დოღურაშისა და ოფიტარა-ოყურემის მიდამოების ამგები ქანები განიცდის ინტენსიურ მსხვრევას, ჰიდროთერმულ სილიფიკაციას და სულფიდიზაციას, რის გამოც მათ მნიშვნელოვნად დაკარგული აქვთ პირველადი ბუნება. აღნიშნული ჰიდროთერმული შეცვლები და მადნიანი მინერალიზაციის პროცესები მხოლოდ ქვედა და შუა იურულ ქვიშაქვებს, ფიქლებს, ეფუზურ ქანებსა და მათი გამკვეთი ინტრუზული სხეულების კონტაქტის ზონაში აღინიშნება. აქ წარმოდგენილი მადნეული მინერალებია: ქალკოპირიტი (CuFeS_2), სფალერიტი ($(\text{Zn,Fe})\text{S}$), გალენიტი (PbS) და მარკაზიტი (FeS_2). მეორადი მინერალებიდან გვხვდება: ლიმონიტი, სმიტსონიტი და მალაქიტი. ადგილი აქვს შემდეგ შეცვლებს: სილიციფიკაციას, სერიციტიზაციას, კაოლინიზაციას, კარბონატიზაციას. ქლორიტიზაციას და პირიტიზაციას. მადნები ხასიათდება მარღვული, მასიური, ჩანაწინწკლური, ზოლიან-კოლოფორმული და ბრეჩიული ტექსტურებით (სურ.14).

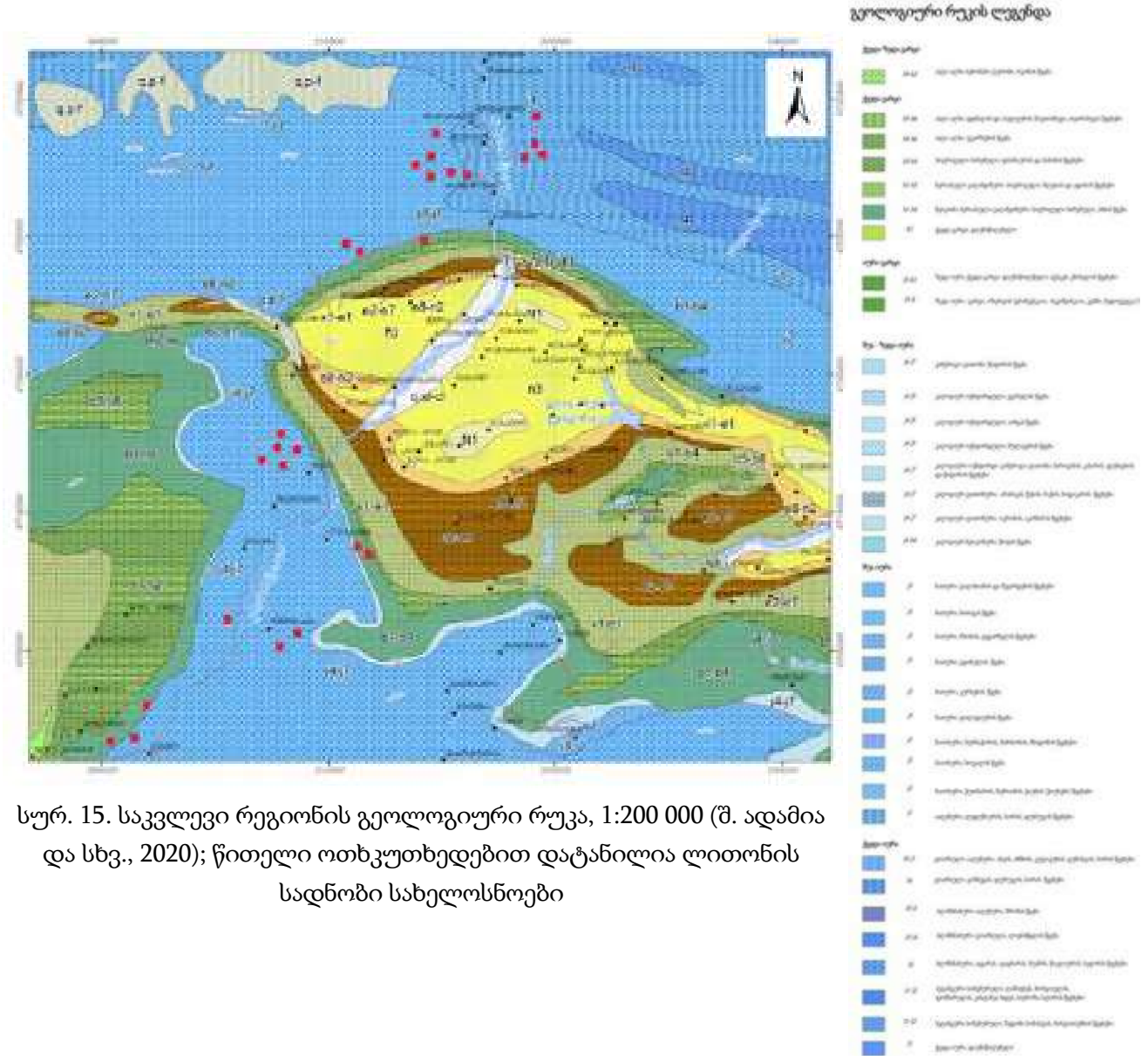


სურ. 14. მადნის ნიმუშები საკვლევ ტერიტორიიდან: (ა) ჰიდროთერმული ბრექჩია, კვარცისა და მადნეული მინერალების შემავსებლით და რკინის ოქსიდებით, დოღურაში; (ბ) ჰიდროთერმული ბრექჩია, გალენიტის და სფალერიტის კრისტალთა მარცვლებით (მარცხნივ), დაფარული რკინის ოქსიდებით, დოღურაში; (გ) სფალერიტით მდიდარი ნიმუში, ქალკოპირიტის ჩანართებით (ოქროსფერი), დოღურაში; (დ) გამოფიტული ჰიდროთერმული ბრექჩია, სილიფიცირებული ქვიშაქვის კლასტებით და ოქსიდიზირებული მატრიქსით, დოღურაში; (ე) პირიტიზირებული და სილიფიცირებული ვულკანური ქანი, დოღურაში; (ვ)

კვარცის ძარღვი ქაკლოპირიტით, ოფიტარა; (ზ) შემცველ ქანში თანაბრად განაწილებული სულფიდთა ჩანართები, რომლებიც ქმნიან ე. წ. „სვეტისებრი განწვევების“ მსგავს ტექსტურას, ოფიტარა; (თ) სულფიდთა (სფალერიტი, ქალკოზინი) ორბიკულარული ჩანართები, კვარცით. შემცველი ქანი გაცეოლითებული და ოქსიდიზირებულია, ოფიტარა; (ი) გაქლორიტებულ ვულკანურ ქანში კვარცის, ქალცედონისა და ქალკოპირიტის ფლუიდალური ძარღვები, ოფიტარა; (კ) მასიური სულფიდური მადანი (ქალკოპირიტი, პირიტი და პიროტინი), დოლურაში.

დოლურაშისა და ოფიტარას მიდამოების ჰიდროთერმული ბრექჩიები მონომიქტურია. გვხვდება, როგორც ნაწილობრივ ასევე ინტენსიურად ბრექჩირებული უბნები. აღწერილ ჰიდროთერმულ ბრექჩიებში კლასტები ყოველთვის ჭარბობს მატრიქსს/შემავსებელს (სურ. 14 ა, ბ, დ) კლასტების უმეტესობა კუთხოვანი ან ნახევრადკუთხოვანია. მატრიქსი ძირითადად მხოლოდ სილიკატისგან ან კალციტ-ცეოლითის (უმეტესად ოფიტარა) ნარევისაგან შედგება, რომელიც ხშირად შეიცავს მადნეულ მინერალთა ჩანართებს, რომელთაც ხან ჩანაწინწკლების, ან ფლუიდური, ან ზოლებრივი ტექსტურა აქვს. კლასტების ნაწილი სილიფიცირებული ქვიშაქვებია (უფრო ხშირია დოლურაშის მიდამოებში), ასევე გვხვდება ვულკანური ქანის (უმეტესად ოფიტარა) კლასტებიც, რომელსაც პირველადი ბუნება დაკარგული აქვთ. ეპიგენეტური ჰიდროთერმული ბრექჩიების წარმოშობა უკავშირდება მაგმურ-ჰიდროთერმულ აქტივობას, რომლის დროსაც ხდება ბზარებსა და ნაპრალებში კვარცისა და მადნეული მინერალების შეჭრა.

ჩატარებული საველე გეოლოგიური დაკვირვებების შედეგად დგინდება, რომ ლეჩხუმი-ქვემო სვანეთის ტერიტორიაზე გამოვლენილი ლითონის სადნობი სახელოსნოდან 24 სივრცობრივად ქვედა და შუა იურული ასაკის გაშლილი ზღვის ვულკანოგენურ და ვულკანოგენურ-დანალქ ქანებს უკავშირდება. სწორედ იმ ნალექებს, რომლებთანაც არსებული გეოლოგიური მონაცემების მიხედვით რეგიონში არსებული ყველა საბადო და მადანგამოვლინებაა დაკავშირებული. მათგან მხოლოდ ხუთი არქეომეტალურგიული ობიექტი - ჭიქელაში, ოყურეში I და II, კადარი და წმინდალიანი ქვედა ცარცულ კირქვებზეა განლაგებული, თუმცა იურულ ქანების კონტაქტის ზონასთან სიახლოვეს (სურ. 15).



სურ. 15. საკვლევ რეგიონის გეოლოგიური რუკა, 1:200 000 (შ. ადამია და სხვ., 2020); წითელი ოთხკუთხედებით დატანილია ლითონის სადნობი სახელოსნოები

1.2 არქეომეტალურგიული სადაზვერვო სამუშაოები

არქეოლოგიური სამუშაოები მოიცავდა ახალი პრეისტორიული სადნობი სახელოსნოების მოძიებას და მათ GPS ფიქსაციას; ადრე აღმოჩენილ, უკვე კვლევის ეტაპზე მყოფ არქეომეტალურგიულ ობიექტებზე საძიებო თხრილების გათხრა/გაფართოებას; მეტალურგიული ნარჩენების: წიდების, ტიგელისა/ქურის და საბერველი მილის ფრაგმენტების შეგროვებას მათი კამერალური და ლაბორატორიული კვლევებისთვის.

2020-2022 წლის არქეომეტალურგიული საველე-სადაზვერვო სამუშაოები - სოფლების გვესოს (ადგ. ჭიქელაში), ოყურემის (ადგ. დიდლოდები და სათიბები), რცხმელურის (ადგ. შავბინულა), გვიმბრაღას (ადგ. ჟიბე მოლი) მიდამოებში გაგრძელდა.

ჭიქელაში

ჭიქელაში მდებარეობს მდ. ცხენისწყლის მარჯვენა ნაპირზე, ცაგერიდან ჩრდილო დასავლეთით ≈ 5 კმ-ში, ჭიქელაშის ქედის კირქვიანი პლატოს სამხრეთ ფერდზე (სურ.16). ჭიქელაშის ლითონის სადნობი სახელოსნო (314932 N; 4725680 E; h=1445მ) აღმოჩნდა 2019 წლის მაისში.



სურ. 16. მდ. ცხენისწყლის ხეობა და ცაგერი; თეთრი ისრით ნაჩვენებია ჭიქელაში; ხედი ორბელის სერპანტინიდან

ჭიქელაშის სადნობი სახელოსნო ტყიან ადგილას, ყანისთვის გაკაფულ მდელოზე, ორ ბუნებრივ დეპრესიას (კარსტულ ჩაღრმავებას) შორის არსებულ შემალღებაზე/ბორცვზე მდებარეობს. სადაც დიდი რაოდენობით ვნახეთ წიდეები, ქურის შელესილობის, ტიგელისა და ჰაერის საბერველი მილების ფრაგმენტები; ასევე დამწვარი ნიადაგის ზედაპირები, რადგანაც აღნიშნული ბორცვის ზედაპირი საკმაოდ ეროზირებულია (სურ. 17).

ჭიქელაში და მისი მიდებარე ტერიტორია, სადაც ლითონის სადნობი სახელოსნოა აღმოჩენილი, განსხვავებით სხვა სადნობი სახელოსნოებისგან ქვედა ცარცულ კარბონატულ ქანებზეა (გლაუკონიტური ქვიშაქვები, მერგელოვანი და დოლომიტიზირებულ კირქვები ვარდისფერი და ხორცისფერი კაჟის ჩანართებით) განლაგებული. ცარცულ ნალექებს ჩრდილოეთით ≈ 500 მეტრში, უთანხმოდ ადევს შუა იურული - ბაიოსური პორფირიტული წყების ქანები. ჭიქელაშის მიდამოების დათვალიერებისას არ ჩანს არცერთი შეცვლილი ან მინერალიზირებული ზონა. ჭიქელაშის მიდამოებში განვითარებულია სუსტად გამოხატული კარსტული რელიეფის ფორმები - კარული ველებით და სხვადასხვა სიდიდისა და ფორმის უარყოფითი ფორმებით/ჩაქცევებით (კარსტული ღრმულები, კარსტული სასულე ან ძაბრი) (სურ. 18).



სურ. 17. ჭიქელაშის მიდამოების აეროფოტო (ფოტო ვ. მამიაშვილის)

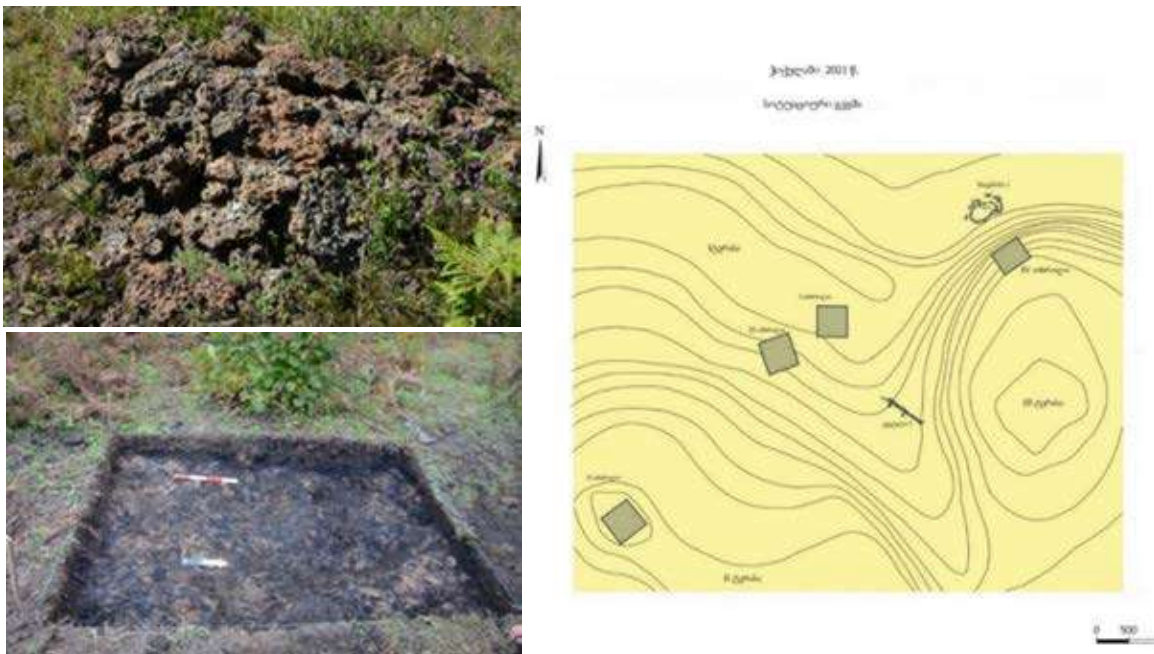
ტერიტორიაზე დაფიქსირდა მსგავსი 7 სტრუქტურა, აქედან ორი ძეგლის სიახლოვეს. გაჩნდა კითხვები, პრეისტორიულ მდაროელებს საიდან მოქონდათ მადანი, ან ხომ ხომ არ იყენებდნენ აღნიშნულ ქანებში წარმოქმნილ კარსტულ ჩაქცევებს მადნის გამოსაღებად/მოსაპოვებლად.

ჭიქელაშის არქეომეტალურგიულ ობიექტზე გაფართოვდა 2019 წელს გაჭრილი სადაზვერვო სამი თხრილი (სურ. 19, 21, 22). გაიწმინდა და გაითხარა სადნობ

სახელოსნოსთან მდებარე ე.წ. კარსტული სასულე (სიდრუე) უძველესი მეტალურგიის საქმიანობის კვალის აღმოჩენის მიზნით (სურ. 20).

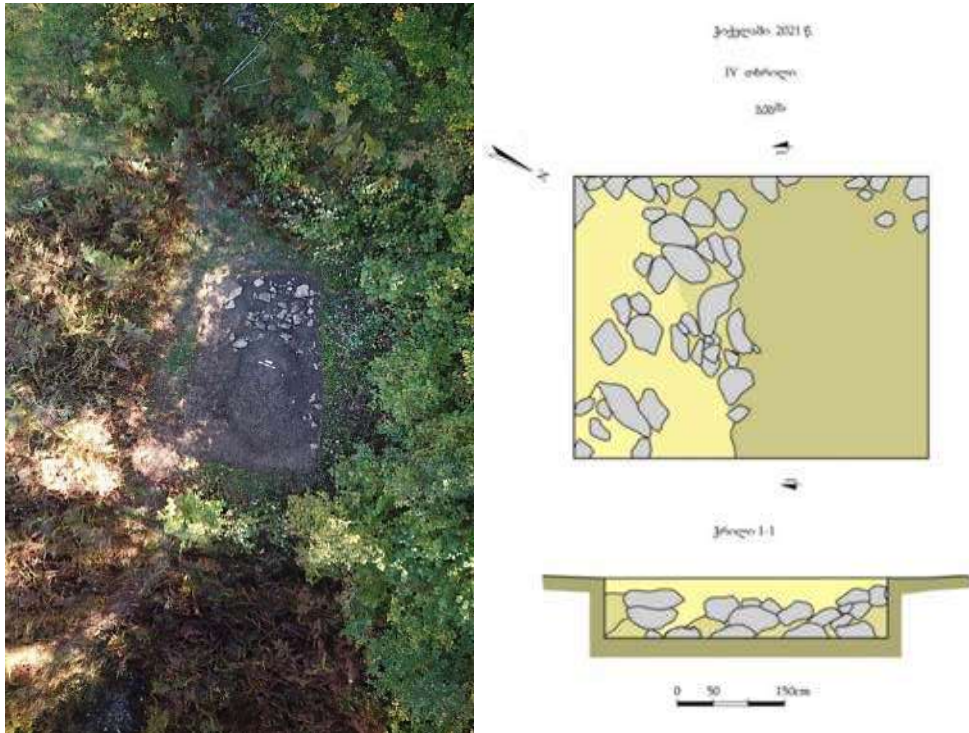


სურ. 18 ა) კარსტული რელიეფის ფორმები; ბ) კარსტული ჩაქცევები; ჭიქელაში

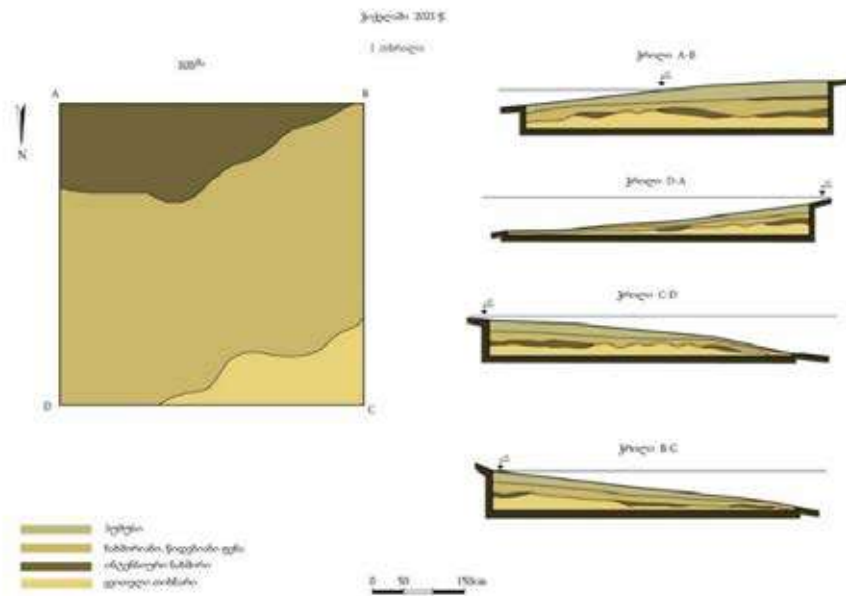


სურ. 19 ა) წიდეები; ბ) #1საცდელი თხრილი; გ) აღმოჩენის ადგილის ტოპოგეგმა. ჭიქელაში

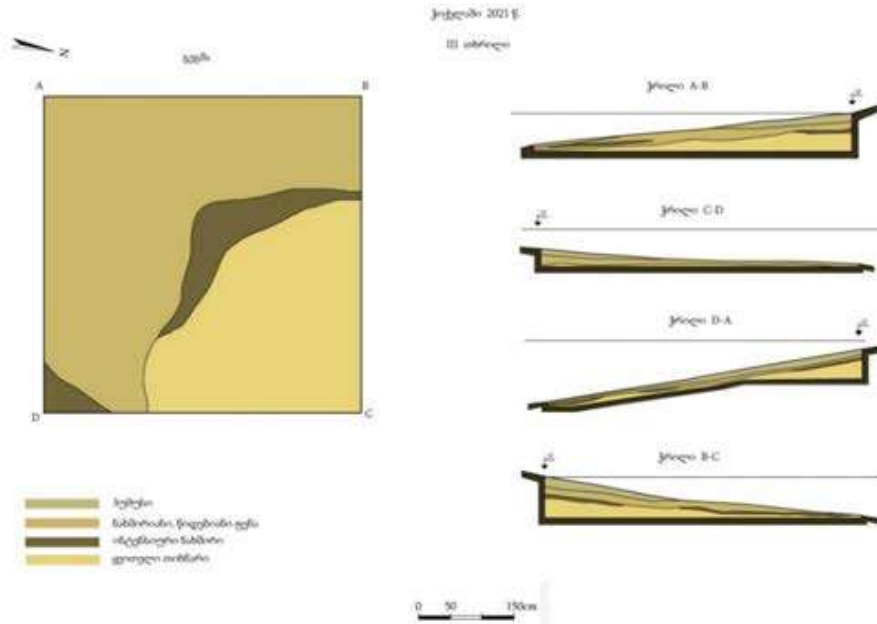
სადაზვერვო თხრილებში სტერილურ ძლიერ მოყვითალო თიხნარ ფენის თავზე ჭრილებში დაფიქრდა კულტურული ფენები, რომელიც შედგება ნახშირიანი სედიმენტისაგან. კულტურული ფენა სხვადასხვა სიმძლავრისაა და შეცავს ლითონის დნობის ნარჩენებს - წიდებს, ტიგელისა და საბერველი მილის ფრაგმენტებს (სურ. 19, 21-23).



სურ. 20 ა) კარსტული სასულე; ბ) თხრილი # 4, გეგმა, ჭრილი. ჭიქელაში

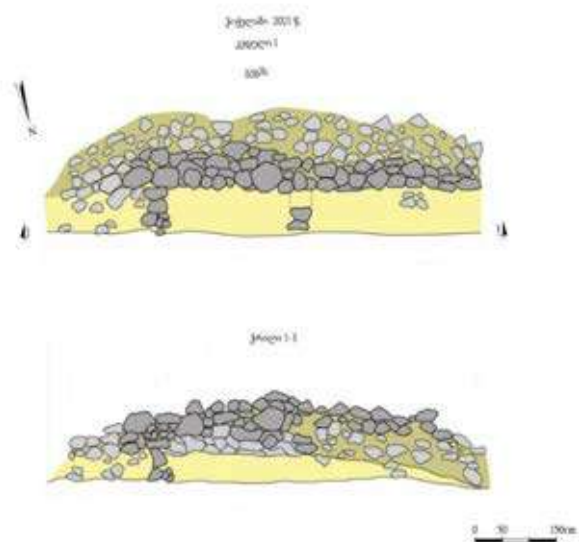


სურ. 21. თხრილი # 1, გეგმა, ჭრილი. ჭიქელაში



სურ. 22. თხრილი # 3, გეგმა, ჭრილი. ჭიქელაში

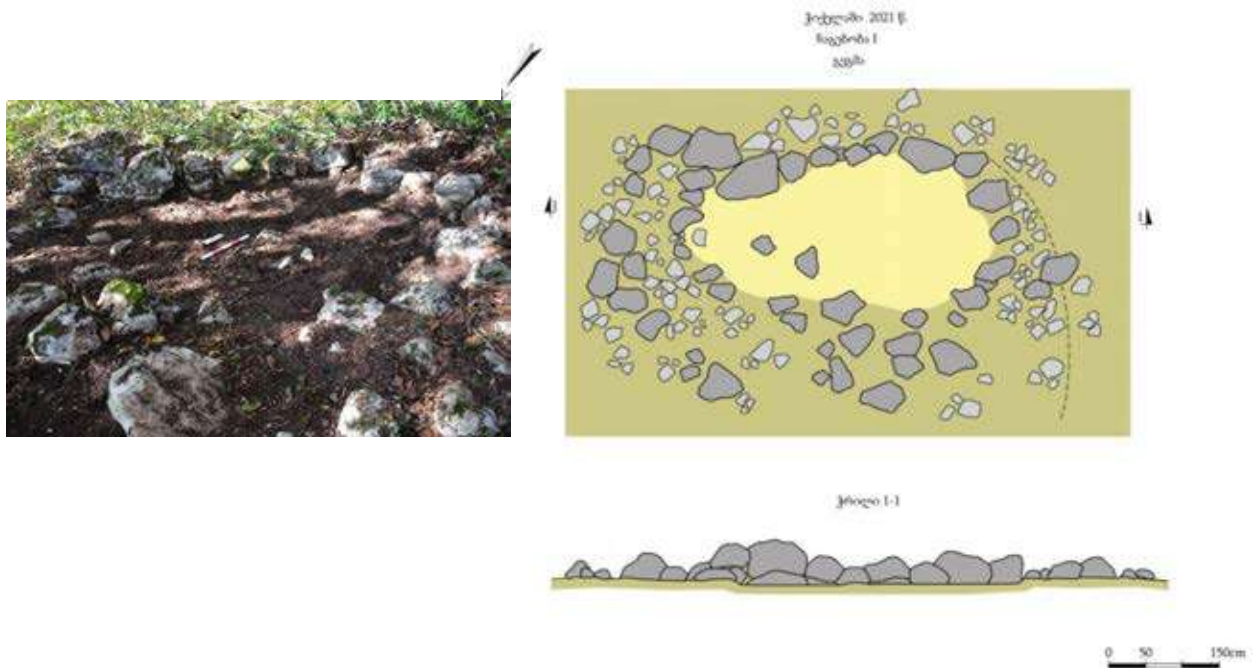
კარსტული სასულის გასუფთავების შემდეგ გამოჩნდა მისი მრგვალი ფორმა (ზომები - 4x5 მ.). ის ამოვსებულია დიდი ზომის კირქვის ლოდებით, რომელიც სავარაუდოდ ჩამოვარდნილია ზემოდან და სრულიად ბინებრივი წარმონაქმნისა, აღნიშნულ სასულეში არ ფიქსირდება კულტურული ფენა.



სურ. 23. ნაგებობის კედელი; ბ) გეგმა და ჭრილი. ჭიქელაში

ჯერ კიდევ 2019 წლის დაზვერვების დროს ყურადღება მიიპყრო სიღრუეებს შორის არსებულ შემადლებულ ადგილზე, ე. წ. „უნაგირზე“ მოზრდილი და საშუალო ზომის კირქვის ლოდებით ნაგებმა კედელმა (ე. წ. ყორე). გაწმენდითი სამუშაოების შედეგად გამოვლინდა მშრალი წყობით ნაშენები ნაგებობის ნაშთი, რომელიც ამოყვანილი უნდა ყოფილიყო ბუნებრივი კირქვის, ამჟამად თითქმის დაშლილ, საფუძველზე (ზომები - სიგრძე 6 მ, სიმაღლე საძირკვლიანად 90×60 სმ). ის დამხრობილია აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ და ერთ ადგილას, დასავლეთით კუთხეს ქმნის (სურ. 23).

ტყე-ბუჩქით დაფარულ ქედზე, რომელიც ორ ბუნებრივ ჩაღრმავებას აკრავს ჩრდილოეთის მხრიდან, იკითხებოდა თითქმის მთელ პერიმეტრზე, ყოველ 20-30 მეტრში მრგვალი ფორმის ე. წ. ქვაყრილები. ერთ-ერთი ასეთი ქვაყრილის გაწმენდის შედეგად გამოვლინდა მოზრდილი ქვების მშრალი წყობით ნაშენი ოთხკუთხა-მომრგვალებული სათავსი (ზომები 6×3 მ, 70-80 სმ, სიმაღლე 40-60 სმ) (ნახ. 24).



სურ. 24. სათავსი #1; ფოტო, გეგმა, ჭრილი. ჭიქელაში

სავარაუდოდ ჭიქელაშის ტერიტორიაზე საქმე უნდა გვექონდეს დიდ ფართობზე გავრცელებულ ნამოსახლარ კომპლექსთან. ობიექტზე ჯერჯერობით არ ჩატარებულა არქეოლოგიური გათხრები, აქედან გამომდინარე ვერ ვისაუბრებთ მის ასაკზე და რაობაზე და ასევე მის კავშირზე აქ არსებულ სპილენძის სადნობ სახელოსნოსთან.

ჭიქელაშიდან შეგროვდა წიდისა და ტექნიკური კერამიკა სხვადასხვა ანალიზებისთვის (იხ. თავი: კამერალური სამუშაოები; ჭიქელაშის ნიმუშების აბრევიატურაა – Ch).

ოყურეში

სოფელი ოყურეში, მდინარე ცხენისწყლის მარცხენა ნაპირზე, ხვამლის მასივის ჩრდილო-დასავლეთ კალთაზე მდებარეობს; იგი ცაგერიდან დაშორებულია 18 კილომეტრით. ოყურეშის მიდამოებში უმეტესად შუა იურული და ვუკანური და ვულკანოგენურ-დანალექი ქანებია გავრცელებული, რომლებსაც ჩრდილო აღმოსავლეთის მიმართულებით აღმავალ ჭრილში მოსდევს ზედა იურული, კიმერიჯულ-ტიტონური დანალექი ქანები, მას კი ქვედა ცარცული - ვალანჟინური და ჰოტრივული იარუსის კვარც-არკოზული ქვიშაქვები და დოლომიტიზირებული კირქვები. სწორედ იურული და ცარცული ქანების კონტაქტის ზოლში, სოფელ ოყურეშიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთით 2 კმ-ში, ტყეში, სამანქანო გზასთან სიახლოვეს ადგილ „დიდლოდებთან“ აღმოჩნდა ახალი ლითონის სადნობი სახელოსნო (311850 N; 4710728 E; h=1079) (სურ. 25). აქ საკმაოდ დიდ ფართობზე ფიქსირდება კულტურული ფენები, რომელიც ჩაჭრილია პატარა მშრალი ხევით/ხრამით (სურ. 26 ა).



სურ. 25. ლითონის სადნობი ძეგლები (ნაჩვენებია ისრებით), ხვამლის მასივის ძირში. ოყურეშის მიდამოები

ხევი მხოლოდ წვიმისა და თოვლის წყლით საზრდოობს, რომელსაც როგორც ჩანს გამორეცხილი აქვს მცირე ზომის მასალა (არტეფაქტები), რადგანაც მის კალაპოტში მხოლოდ დიდი ზომის წიდეები (სურ. 26 გ, დ) გვხვდება. მცირე ზომის მასალა მხოლოდ დროებითი ნაკადების მიერ ჩაჭრილ კულტურულ ფენებშია შემორჩენილი.

აღმოსავლეთის მიმართულებით, ჰიფსომეტრიულად ზემოთ, ≈ 500 მეტრში, სამანქანო გზის გადაკვეთის შემდეგ, ტყეში დავაფიქსირეთ ანალოგიური, მაგრამ საკმაოდ ნაგორები არქეომეტალურგიული მასალა. კიდეც უფრო ზემოთ, დიდლოდეებიდან ≈ 2 კმ-ში ადგილ სათიბებთან, ვნახეთ ნახშირიანი ნიადაგის ფენა რომელიც დიდი რაოდენობით შეიცავდა წიდეებს (311952 N; 4710521 E; h=1155). კულტურული ფენები აქაც ჩაჭრილია დროებითი ღვარების მიერ, მაგრამ შედარებით უკეთაა შენარჩუნებული ვიდრე ოყურეში I-ზე (სურ. 26 ე და 28).



სურ. 26 ა) ოყურეში I (დიდლოდები), ხევი სადაც გამოჩნდა კულტურული ფენები; ბ), გ) და ვ) წიდეები და კერამიკა ოყურეშის სადნობი სახელოსნოებიდან; კულტურული ფენა; ოყურეში II (სათიბები)

კულტურული ფენების სიმძლავრის დასადგენად გაითხარა სამი სატესტო თხრილი. ორი ოყურეში I-ზე (დიდლოდები) (სურ. 27 ა, ბ), ერთი ოყურეში II-ზე (სათიბები) (სურ. 28). სატესტო თხრილებმა აჩვენა, რომ ორივე ადგილი ძლიერ არის დახრამული და ინფორმაციის დიდი ნაწილი წაშლილია. მიუხედავად ამისა, დიდი რაოდენობით იკრიფება მეტალურგიული ნარჩენები (დიდი ზომის წიდეები, ქურის შელესილობის, ტიგელების და საბერველი მილების ფრაგმენტები). ჭრილში გამოჩნდა დანახშირებული და დამწვარი/გაწითლებული ფენები. საიტების დაზიანების გამო ვერ მოხერხდა მძლავრი კულტურულ ფენების დაფიქსირება (სურ. 29 ა, ბ და სურ. 30).

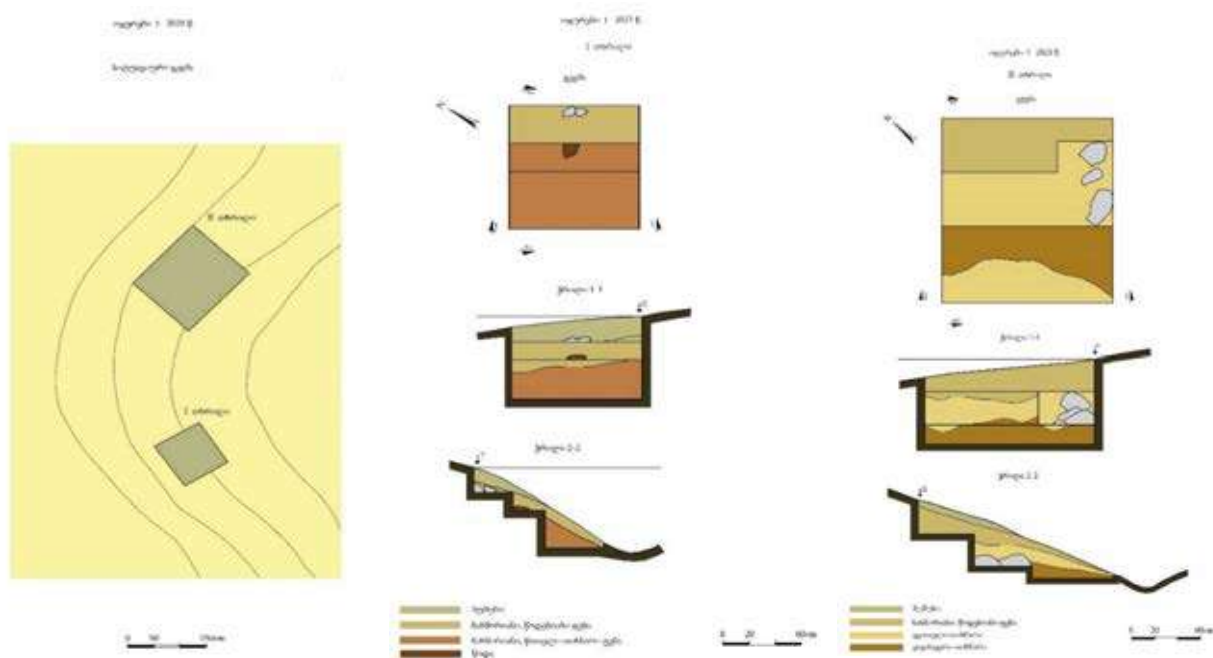


სურ. 27 ა), ბ) - ოყურეში 1, „დიდლოდები“, თხრილი # 1 (100 სმ×100 სმ) თხრილი # 2 (150×170 სმ)

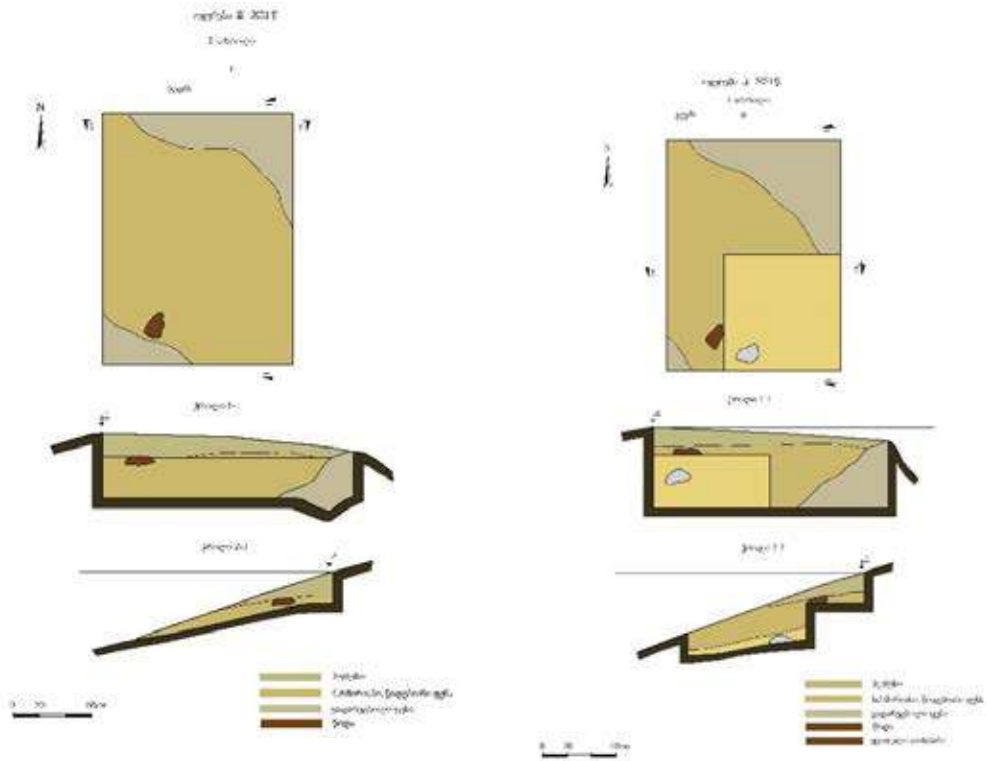
ოყურეშის ლითონის სადნობი ორივე სახელოსნოდან შეგროვდა წიდისა და ტექნიკური კერამიკის ნიმუშები სხვადასხვა ანალიზებისთვის (იხ. თავი: კამერალური სამუშაოები; ოყურეშის ნიმუშების აბრევიატურაა – Ok).



სურ. 28. ოყურეში II, „სათიბები“, თხრილი # 1 (200 სმ×150 სმ)



სურ. 29 ა) ოყურეში I, სიტუაციური გეგმა; ბ) ოყურეში I, თხრილი #1, გეგმა, ჭრილი; გ) ოყურეში I, თხრილი #2, გეგმა, ჭრილი



სურ. 30 ა) ოყურეში II, თხრილი #1, გეგმა, ჭრილი; ბ) ოყურეში I, თხრილი #2, გეგმა, ჭრილი

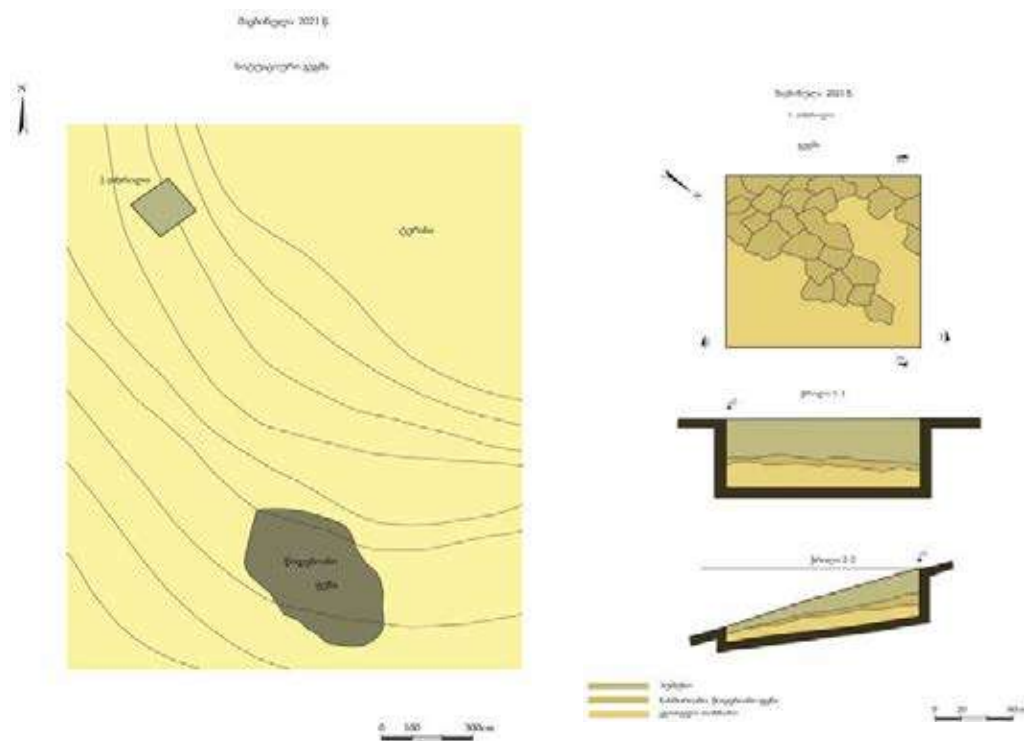
შავბინულა (3)

ქვემო სვანეთის ტერიტორიაზე არქეოლოგიური დაზვერვები ჩატარდა სოფ. რცხმელურის თავზე (42°42'19.8"N; 42°47'11.5"E; h=1118), ადგილ შავბინულას ლითონის სადნობ სახელოსნოზე. გათხრილ სადაზვერვო თხრილში დაფიქსირდა თხელი კულტურული ფენა, ნახშირიანი შავი ფერის სედიმენტი წიდეების და კერამიკის ფრაგმენტებით. ზედაპირიდან 0.35 სმ სიღრმეზე გამოჩნდა თიხანარევი ფენა, მცირე ზომის ქვის ნატეხებით. ამგვარი ფენა სხვა ძეგლებზეც გვხვდება, როგორც წესი მას ზემოდან ადევს კულტურული ფენა (სურ. 31 და 32 ა, ბ).





სურ. 31 ა), ბ) „შავბინულა”, გ), დ) სადაზვერვო თხრილი, ე), ვ) წიდა და ქურის შელესილობის ფრაგმენტები



სურ. 32 ა) „შავბინულა“ სიტუაციული გეგმა, ბ) ჭრილი

გვიმბრალა

2021 წლის საველე სამუშაოებისას აღმოჩნდა და დაფიქსირდა კიდევ ერთი ახალი არქეომეტალურული ობიექტი ქვემო სვანეთის ტერიტორიაზე ($42^{\circ}42'9.8''N$, $42^{\circ}47'11.5''E$, $h=1118$ მ.); სოფელ გვიმბრალაში ადგილი ჟიბე ლარა (ზედა მინდორი), სოფლის თავზე დიდი მინდორზე მდებარეობს, მის ბოლოში ჩამოედინება ლელე -

გვიმბრალას წყალი. ჟიბე ლარა ძალიან გავს ჩვენს მიერ შესწავლილ არქეომეტალურგიულ ობიექტს - დოღურაშს. აქ ზედაპირულად იკრიფება არქეომეტალურგიული მასალა - წიდეები, ტიგელისა თუ ქურის შელესილობის ფრაგმენტები, და გაწითლებული ქვები (კვარციანი ქვიშაქვები) (სურ. 33).



სურ. 33. სოფ. გვიმბრალა, ადგილი ჟიბე ლარა

ოფიტარა

სოფელ ოფიტარას დასავლეთით (სოფლის ბოლოში), მდინარე თეთრიღელეს მარჯვენა ნაპირზე, ერთ-ერთ სასოფლო-სამეურნეო ნაკვეთზე მიწის დამუშავებისას აღმოჩნდა წიდეები. მითითებულ ადგილზე – დ. წ. #335 ($42^{\circ}30'39.6''N$ $42^{\circ}39'27.1''E$; $h=752m$.) დაფიქსირდა წიდეები და უხეში, მსხვილმარცლოვანი კერამიკის ფრაგმენტები (სურ. 34). წიდეებისა და კერამიკის პირველადი დათვალიერების საფუძველზე არქეომეტალურგებმა და არქეოლოგებმა გამოთქვეს მოსაზრება, რომ აღნიშნული წიდეები რკინის და არა სპილენძის დნობის პროდუქტია, ე. წ. ნალვენთები (iron "flow" slag), ხოლო კერამიკის ფრაგმენტები შედარებით-ტიპოლოგიური მეთოდის საფუძველზე შუა საუკუნეების დროინდელი უნდა იყოს.



სურ. 34. რკინის მეტალურგიის წარმოების ნარჩენები, სოფ. ოფიტარა

ოფიტარაში კიდევ ერთი რკინის სადნობი სახელოსნო აღმოჩნდა სოფლის განაპირას (317125N; 4724376E; h=522). არქეომეტალურგიული მასალა - მსუბუქი წიდეები (მალაქიტის წანაცხების გარეშე) და უხეში კერამიკის ფრაგმენტები მიმოფანტულია დაახლოებით 300 მ² ფართობზე (სურ. 35). აღნიშნული ობიექტი სოფელ ოფიტარაში ჩვენ მიერ დაფიქსრებული რკინის სადნობი მესამე სახელოსნოა.



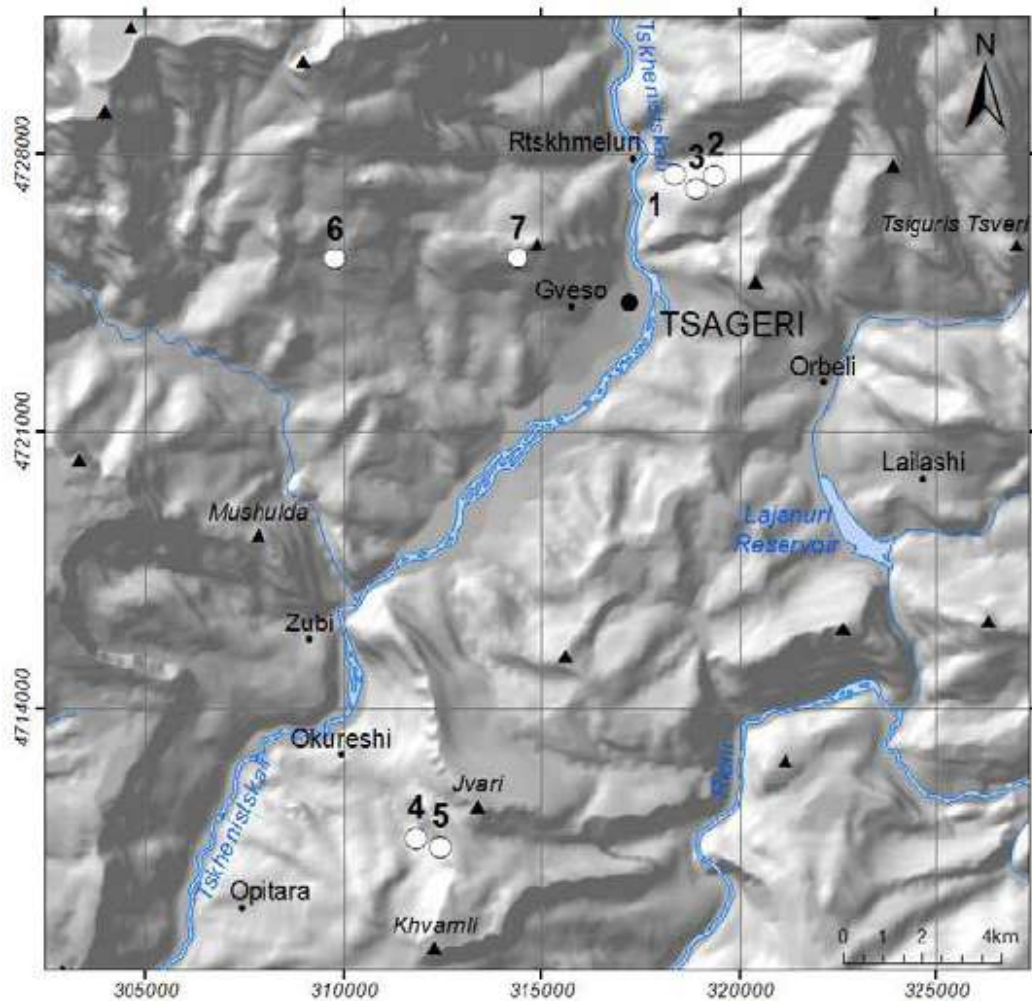
სურ. 35 ა) ადგილი სადაც აღმოჩნდა წიდეები, ხედი სოფლიდან აღმოსავლეთით მდებარე ასხის პლატოზე; ბ) ახლად გაჭრილი კულტურული ფენები. სოფ. ოფიტარა

ოფიტარას რკინის სადნობი სახელოსნოებიდან შეგროვდა წიდეების ნიმუშები, სხვადასხვა სახის ანალიზის ჩასატარებლად.

ლითონის სადნობი სახელოსნოების პალინოლოგია

2020 წელს, გვიანი ბრინჯაოს ხანის არქეომეტალურგიულ ობიექტებზე მოპოვებულ წიდეებსა და კერამიკის ფრაგმენტებზე პალინოლოგიური შესწავლის პირველი მცდელობა გვექონდა. პალინოლოგიური კვლევა საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ გვიანი ბრინჯაოს ხანის მთიანეთი კოლხეთის პალეოლანდშაფტის, კლიმატური პირობების, ტაფონომიისა და ადამიანის საქმიანობის მონაცემები. მსგავსი კვლევები პირველი მცდელობაა საქართველოს გვიანი ბრინჯაოს ხანის არქეომეტალურგიულ ძეგლებისთვის. სტრატეგიცირებული ფენებიდან ამოღებულ ნიმუშებში აღმოჩენილი ნამარხი მცენარეთა მტკერი საკმაოდ ინფორმატიული გამოდგა, რის გამოც 2022 წლის

საველე სამუშაოებისას პალინოლოგიური კვლევებისთვის ის 7 ძეგლი შეირჩა, სადაც ჩატარებული იყო არქეოლოგიური სამუშაოები. ესენია რეგიონის უკიდურესი ჩრდილოეთით მდებარე დოღურაშის ჯგუფში შემავალი 3 სახელოსნო-დოღურაში I, დოღურაში II და დოღურაში III; ლეჩხუმის უკიდურესი სამხრეთით მდებარე ოყურემის ჯგუფის სახელოსნოები-ოყურეში I და ოყურეში II; ჩრდილო-დასავლეთით მდებარე ჭიქელაშისა და ლუხვანოს (გვერდისთავი) ლითონის სადნობი სახელოსნოები (სურ. 38).



სურ.36. რუკაზე დატანილია არქეომეტალურგიული ობიექტები, რომლებზეც ჩატარდა პალინოლოგიური ანალიზები: 1. დოღურაში I; 2. დოღურაში II; 3 დოღურაში III; 4. ოყურეში I; 5. ოყურეში II; 6. ლუხვანო (ადგილი გვერდისთავი); 7. ჭიქელაში

პალინოლოგიური ანალიზის ჩასატარებლად ზემოთ ჩამოთვლილ პრეისტორიულ ლითონის სადნობ სახელოსნოებზე გაიწმინდა ჭრილები და კულტურული ფენებიდან

სტერილური იარაღის საშუალებით მოხდა მეტალურგიული ნარჩენების - წიდებისა და ტექნიკური კერამიკის ნიმუშების აღება (სურ. 37).



სურ. 37. კულტურული ფენები, საიდანაც შეგროვდა წიდები და ტექნიკური კერამიკის ფრაგმენტები პალინოლოგიური ანალიზისთვის; ა) ჭიქელაში; ბ) დოღურაში I. გ) ოყურეში I; დ) ოყურეში II; ე) ლუხვანო (გვერდისთავი); ვ) დოღურაში II

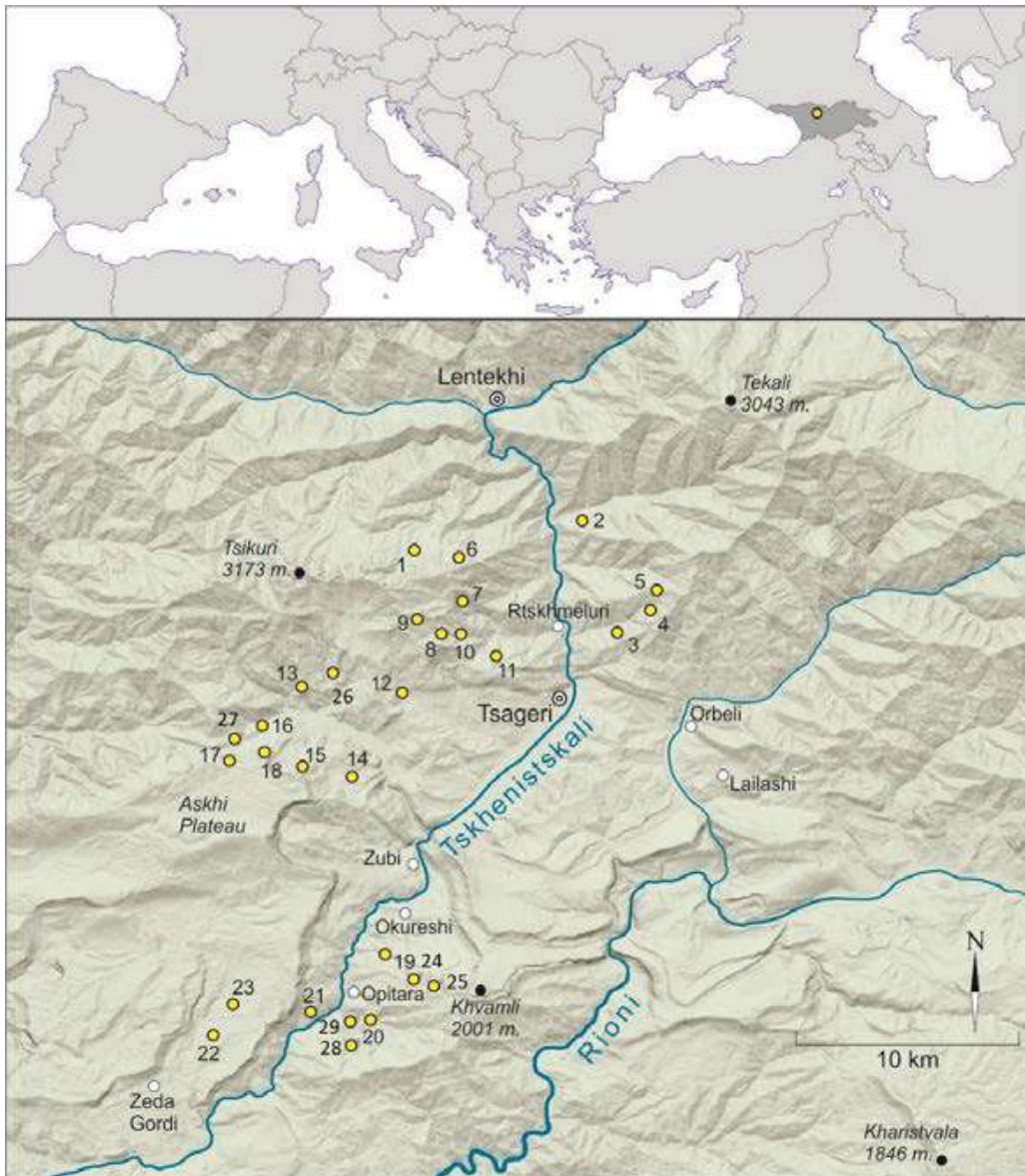
განამარხებულ პალინოლოგიურ სპექტრებთან შესადარებლად და ნიმუშების თანამედროვე მცენარეთა მტვრის მარცვლებით დანაგვიანების გამოსარიცხად ზემოთ ჩამოთვლილი სადნობი სახელოსნობის მიდამოებიდან - დოღურაშის, ოყურეშის, ჭიქელაშის და ლუხვანოს საიტებთან ახლოს შეგროვდა თანამედროვე ნიადაგის სინჯები (სურ. 37).



სურ. 38. თანამედროვე ნიადაგის ნიმუშების აღების პროცესი პალინოლოგიური კვლევებისთვის; ა.) ოყურეში; ბ.) დოღურაში

ლექსუმი-ქვემო სვანეთის ტერიტორიაზე გამოვლენილი ლითონის სადნობი სახელოსნოები ფიზიკურ რუკაზე

2013-2022 წლის მონაცემებით ლექსუმი-ქვემო სვანეთის მიდამოებში 29 ლითონის (სპილენძი, რკინა) სადნობი სახელოსნოა გამოვლენილი, რომელთაგან ხუთი აღნიშნული პროექტის ფარგლებში (სურ. 39). ესენია - ოყურეში I (დიდლოდეები), ოყურეში II (სათიბები), გვიმბრაღა (ჭიბე ლარა), ოფიტარა II (Fe) და ოფიტარა III (Fe) (სურ. 39). საკვლევ ტერიტორიაზე არსებული რკინის სადნობი სახელოსნოები ჰიფსომეტრიულად უფრო ქვემოთ, ზღვის დონიდან 500-750 მეტრ სიმაღლეზე, ხოლო ყველა დანარჩენი სპილენძის სადნობი სახელოსნო კი ზღვის დონიდან 750-დან 1450 მეტრ სიმაღლეზე მდებარეობს.



სურ. 39. 2013-2022 წლებში აღმოჩენილი სპილენძისა და რკინის ობიექტების გავრცელების რუკა ლეჩხუმი-ქვემო სვანეთის ტერიტორიაზე.

- 1 - ლაშკილი; 2 - გვიმბრალა; 3 - დოღურაში I; 4 - დოღურაში III; 5 - დოღურაში II; 6 - სამრეკი; 7 - ლეწფერი I; 8 - ლეწფერი II; 9 - ლეწფერი III; 10 - ლეწფერი IV; 11 - შავბინულა; 12 - ჭიქელაში; 13 - გვერდისთავი; 14 - ქვაწითელი (Fe); 15 - ნამჭედური; 16 - მუშულდა; 17 - გაბონალია; 18 - ფუნაცხვარი; 19 - ოყურეში; 20 - ოფიტარა I (Fe); 21 - ლამბვერია (Fe); 22 - წმინდალიანი (იმერეთი); 23 - კადარი (იმერეთი); 24 - ოყურეში I; 25 - ოყურეში II; 26 - ლუხვანო; 27 - გაბონალია II; 28 - ოფიტარა II (Fe); 29 - ოფიტარა III (Fe)

2. კამერალური სამუშაოები

2.1 წიდეების და ტექნიკური კერამიკის ტიპოლოგიური კვლევა

პროექტის ფარგლებში განხორციელდა ცაგერის ისტორიის მუზეუმის ფონდებში დაცული ბოლო ცხრა წლის მანძილზე სადაზვერვო ექსპედიციებიდან და არქეოლოგიური გათხრებიდან მოპოვებული მასალის - წიდეების და ტექნიკური კერამიკის (ტიგელის, ქურის შელესილობის და საბერველი მილების ფრაგმენტები) არქეოლოგიური კლასიფიკაცია (სურ. 40).



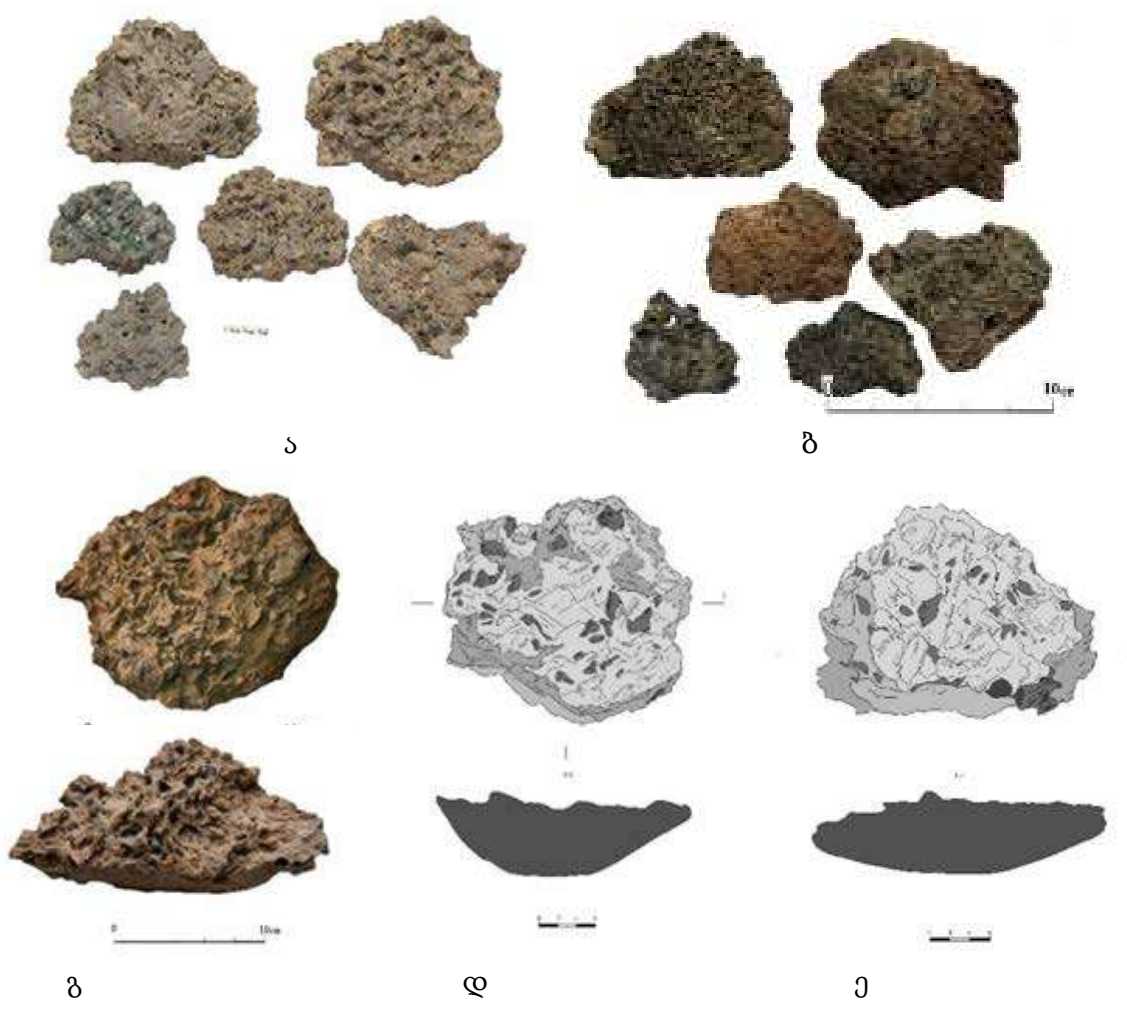
სურ. 40. ცაგერის ისტორიის მუზეუმის ფონდში ლეჩხუმის გვიანი ბრინჯაოს ხანის მასალა

ჩატარებული არქეოლოგიური კლასიფიკაცია დაფუძნებულია მათ მაკროსკოპიულ, მორფოლოგიურ (ფერი, ტექსტურა, ზომა, ფორმა, სისქე, წონა, კვარცის კრისტალების, ქანის ფრაგმენტების ან ნახშირის არსებობა/არ არსებობა, ფოროვნება) განსაზღვრა-შეფასებაზე ინსტრუმენტების გარეშე (Metten, 2003, Hanning et al., 2012, Reitmaier-Naef, 2019). საყოველთაოდ მიღებულია და გამოთქმულია მოსაზრება, რომ ზოგადად წიდეები შეიძლება დაიყოს კვერის ფორმის (slag cakes), მასიურ (massive slag), ფირფიტისებრ (plate slag) და ე. წ. ქვიშა/ხვინჭკიან (დამსხვრეული) წიდებად (slag sand, i.e., crushed slag) - იგივე წილის ნამტვრევები (Reitmaier-naef, 2019).

წიდეების ტიპოლოგიური კვლევა გეოქიმიურ, პეტროგრაფიულ კვლევებთან და არქეოლოგიურ გათხრებთან ერთობლიობაში საშუალებას იძლევა პასუხები გაეცეს შემდეგ კითხვებს: სპილენძის წარმოების რომელ ეტაპზე წარმოიქმნება ამა თუ იმ

ტიპის წილები და რამდენ საფეხურიან დნობასთან გვაქვს საქმე? როგორ და რა ტემპერატურაზე გამყარდა წილები? იყო თუ არა ტექნოლოგიური განსხვავებები სხვადასხვა ლითონის სადნობ სახელოსნოების წილებს შორის? ძირითადად რა სახის სპილენძის მადნები გამოიყენებოდა ლითონის წარმოებისთვის ლეჩხუმი-ქვემო სვანეთში? რამდენად ეფექტური იყო წილების წარმოების პროცესი?

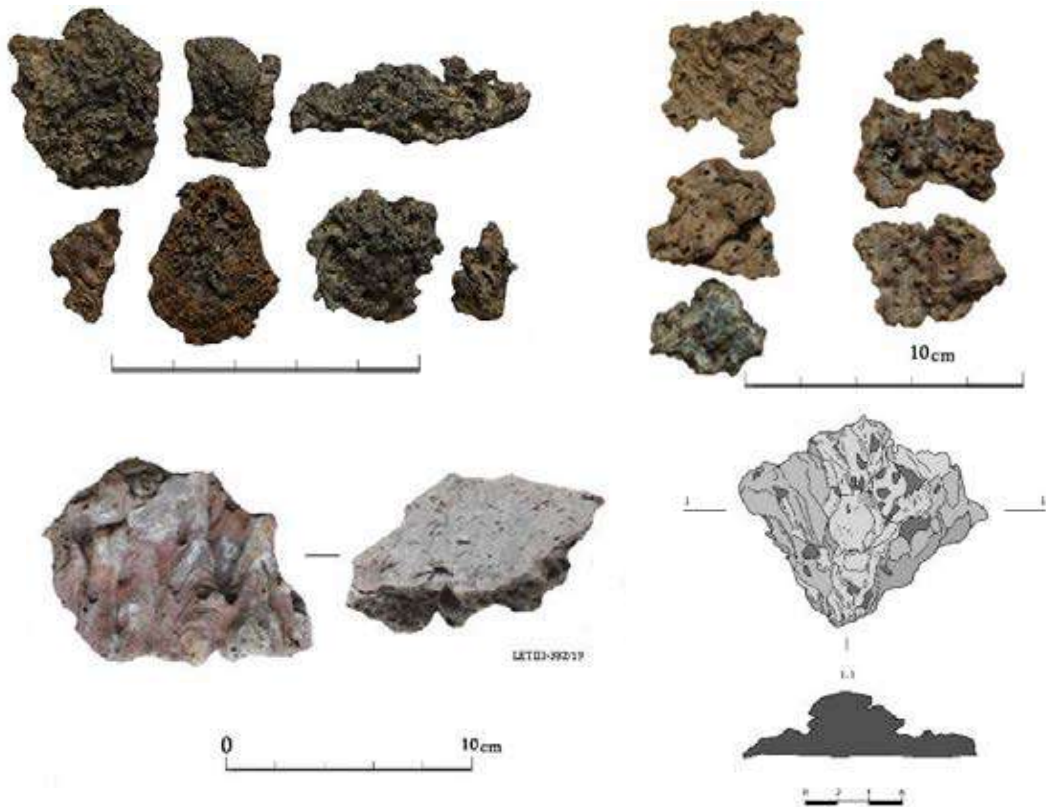
ლეჩხუმი-ქვემო სვანეთის მიდამოებში გვიანი ბრინჯაოს ხანის წილების ტიპოლოგიური კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ მასალაში გვხვდება ოთხი სახის წიდა - (1) კვერის ფორმის (მასიური), (2) ნაღვენეთები, (3) ფირფიტისებრი და (4) ქვიშა-ხვინჭკიანი.



სურ. 41. გვიანბრინჯაოს ხანის წილების ფოტოები და მათი ჩანახატები, ლეჩხუმი. ა) კვერის ფორმის წილები, ზედა მხარე; ბ.) იგივე წილები, ქვედა მხარე; გ), დ) ცალმხრივად გამოზნექილი (plano-convex) წიდა; ე) კვერისებრი წიდა

შესწავლილ მასალაში ყველაზე დიდი რაოდენობითაა მასიური, კვერის ფორმის წიდეები, რომელიც მასალის დაახლოებით 70-80%-ია (სურ. 41) ისინი ორნაირია – (1) ერთ მხარეს გამოზნექილი/ლინზისებური (plano-convex), 12-25 სმ დიამეტრით, წონა 1-10 კგ. მათი ფორმა და მოცულობა შეესაბამება ტიგელისას და პროპორციულია კერამიკის ჭურჭლის; ან შესაძლებელია, რომ ნახევრადგამლვალ მდგომარეობაში არსებული მასა მიწის ზედაპირზე ამოღებულ ორმოში/დეპრესიაში ჩაასხეს, რასაც ადასტურებს კვერების ზედაპირზე არსებული მკვეთრი ნაკეციები და ამობურცულობები (Pryce, *et al.*, 2010), ასევე ზოგიერთი მათგანის ძირზე ქვებისა და კერამიკის ფრაგმენტების არსებობა. აღსანიშნავია, რომ დიდი ზომის წიდეების უმეტესობას შუა ნაწილი მასიური და ჰომოგენური აქვს (ცენტრში ერთი, ან რამდენიმე დიდი სიღრუთი), ხშირია სპილენძის მცირე ზომის ჩანაწინწყლები. (2) ტიპური კვერის ფორმის წიდა, რომლის ზომები 5-9 სმ, წონა 0,2-1 კგ-ია. ორივე ტიპი შეიცავს ნახშირებს და ხის ანაბეჭდებს.

გვიანბრინჯაოს ხანის სადნობ სახელოსნოებზე მეორე და შედარებით ნაკლებად გავრცელებული წიდის ტიპია ე. წ. ნალვენთები (tap slag). ისინი შედარებით მცირე სისქის (>5 სმ), დიამეტრისა (5-15 სმ) და ხვედრითი წონის წიდებია, შუა ჰომოგენური/მასიური ნაწილის გარეშე. ნალვენთებს ზედაპირზე ემჩნევა დენადობის კვალი (სურ. 42).



სურ. 42. ნალვენთი წიდეები და გრაფიკა, ლეჩხუმის-ქვემო სვანეთის ლითონის სადნობი სახელოსნოებიდან

მასალაში ასევე დიდი რაოდენობით გვხვდება როგორც კვერისებრი ფორმის, ასევე ნალვენთი წიდეების ფრაგმენტები/ნამსხვრევები - ე. წ. ქვიშა/ხვინჭკიანი წიდა დამსხვრეული წიდეები (slag sand, i.e., crushed slag) (სურ. 43).



სურ. 43 ა.) წიდის ნამსხვრევები - ე. წ. ქვიშა-ხვინჭკიანი წიდა, დოღურაში II

ქვიშა-ხვინჭკიანი წიდეები ზემოთაღწერილი კვერის ფორმის, ფირფიტისებრი და ნალვენთის ფორმის წიდეების დერივატს წარმოადგენს. ჰ. ბაჩმანს დამსხვრეული წიდის შესახებ გამოთქმული აქვს მოსაზრება, რომ პრეისტორიულ დროში მეტალურგები წიდეებს ამსხვრევდნენ/აქუცმაცებენ და იქედან იღებდნენ სპილენძის მარცვლებს ან დამსხვრეული წიდის ფრაგმენტებს ამზადებდნენ ხელახალი დნობისთვის (Bachmann 1982). პრეისტორიულ პერიოდში დნობის პროცესი ბოლომდე არ ჰქონდათ ათვისებული და წიდეებიდან მეტალის გამოყოფა სრულად ვერ ხდებოდა, ამიტომაც გამომღვავალი სპილენძის მარცვლების ექსტრაქცია წიდეებიდან ხდებოდა ხელით (Hauptmann 2000: 101–116; Hauptmann et al., 2003; Bourgarit 2007). დოღურაში I-ზე „დასაწყობებული“ ერთმანეთში არეული დიდი ზომის კვერისებური და ე. წ. ქვიშა-ხვინჭკიანი წიდეების ფენა (სიმაღლე - 1,80 სმ, ფართობი - 50მ²), სავარაუდოდ სწორედ გადამუშავებისათვის უნდა ყოფილიყო განკუთვნილი.

ლეჩხუმი-ქვემო სვანეთის ლითონის სადნობ სახელოსნოებზე მოპოვებულ წიდეებში ყველაზე იშვიათად გვხვდება ე. წ. ფირფიტისებრი წიდეები (plate slag), რომელსაც

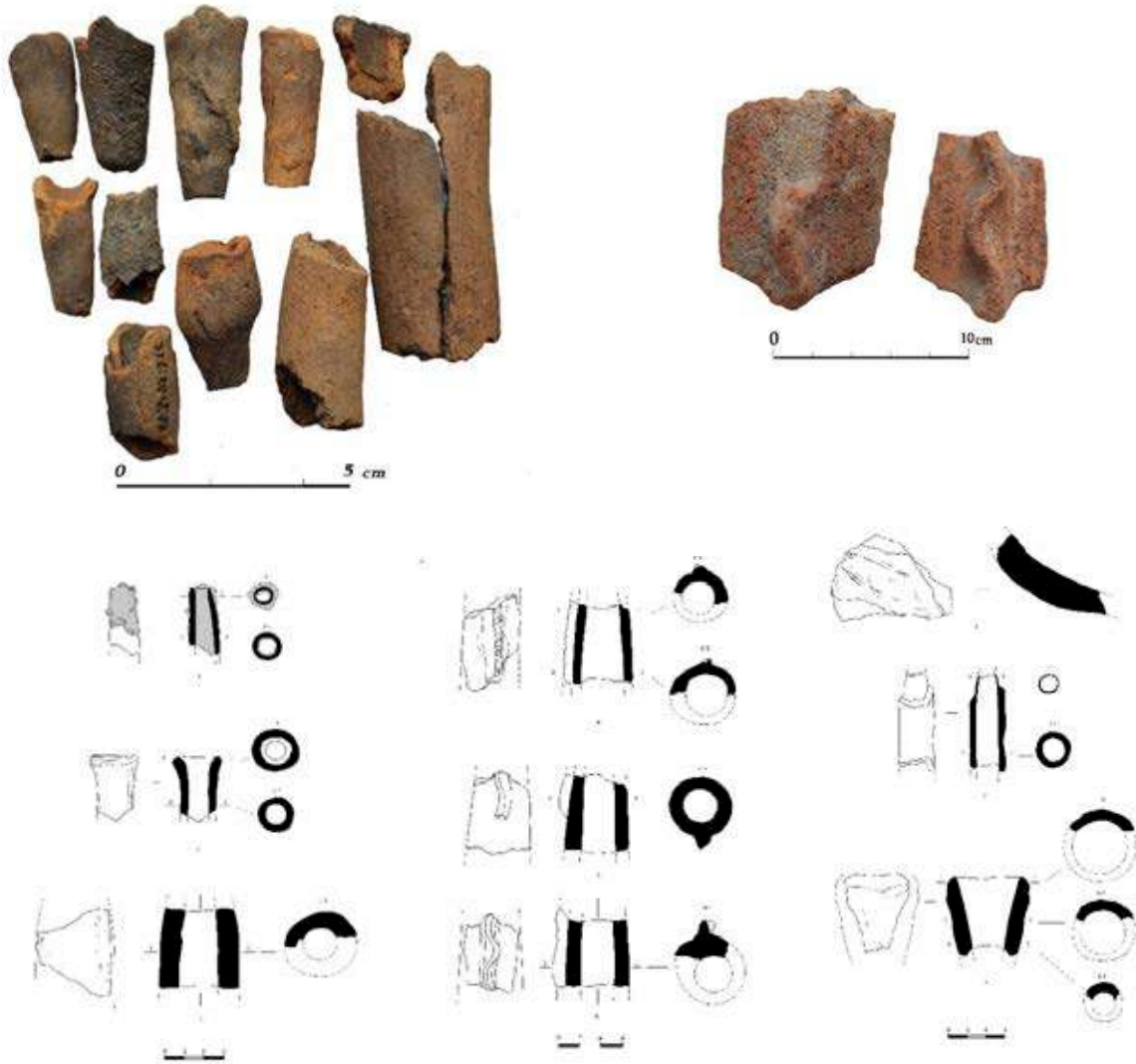
ლიტერატურაში ხშირად მოიხსენიებენ Plattenschlacken-ის სახელით. ამ ტიპის წიდა ერთეული რაოდენობით აღმოჩნდა დოღურაში I, II და ჭიქელაშის ლითონის სადნობ სახელოსნოებზე (სურ. 44). ფირფიტისებრი წიდეები უმეტესად მხოლოდ პატარა კუთხოვანი ნატეხების სახით გვხვდება და შედარებით მყიფეა. ის როგორც წესი არ არის ფოროვანი და ერთგვაროვანი. ყველა მათგანის სიქე მეტ-ნაკლებად თანაბარია - 2-4 სმ.



სურ. 44. ფირფიტისებრი წიდა. დოღურაში II-ის სადნობი სახელოსნო

ძველი მეტალურგიული საქმიანობის ერთერთ უმთავრესი ნარჩენია ტექნიკური კერამიკა, რომელიც ძირითადად საბერველი მილების, ტიგელების და სადნობი ქურის შელესილობის ფრაგმენტებით არის წარმოდგენილი. იშვიათ შემთხვევაში გვხვდება თიხის ჭურჭლის ფრაგმენტებიც, რომელიც ტიპიური კოლხური თიხის ჭურჭელია და დამახასიათებელია გვიანბრინჯაო-ადრერკინის ხანის კოლხური კულტურისთვის.

ლერხუმი-ქვემო სვანეთის სადნობი სახელოსნოებისთვის დამახასიათებელია ორი ტიპის ჰაერის საბერველი მილები, რომლებიც განსხვავდება ერთმანეთისგან ზომით და სისქით (სურ. 45 ა). გვხვდება საბერველი მილების დიდ და მცირე განივკვეთიანი ცალები, რომელთა კედლების სისქეებიც განსხვავდება ერთმანეთისგან. ასევე - თხელკედლიანი და სქელკედლიანი ნიმუშები. საბერველი მილები დამზადებულია ორფენიანი წითელი მსხვილმარცვლოვანი თიხისგან. მილის სადნობ ქურასთან შეერთების ნაწილები გამოირჩევა ლითონის დნობის ძლიერი კვალით, წიდის ნადების სახით; მილის შუა ნაწილებსა და ბოლოზე არ ფიქსირდება ლითონის დნობის კვალი წიდის სახით. განსაკუთრებით აღნიშვნის ღირსია საბერველი მილის ის ფრაგმენტები, რომელსაც ზემოდან ტალღოვან-რელიეფური „გველისებური“ ორნამენტი აქვთ დაძერწილი (სურ. 45 ბ).



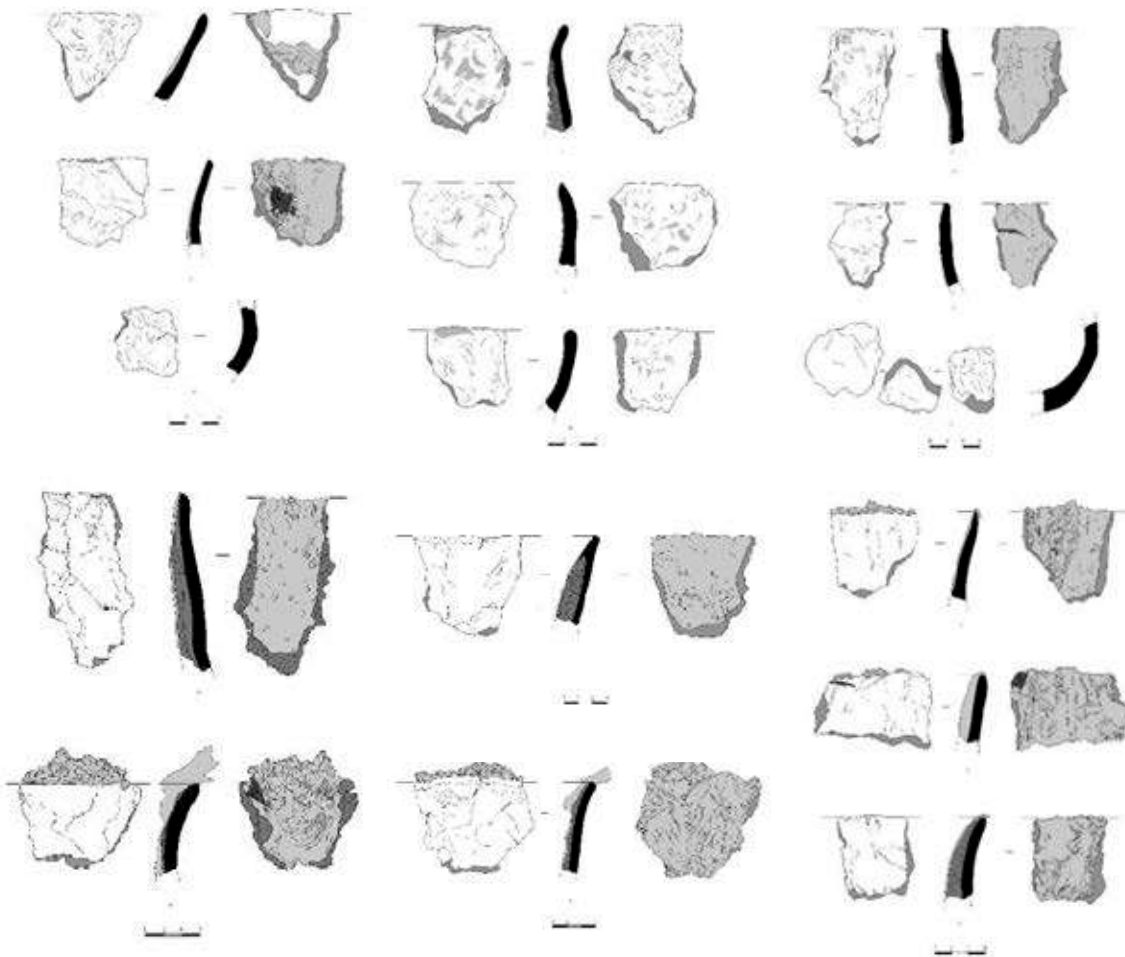
სურ. 45. საბერველი მილები ა) ორივე ტიპის საბერველი მილის ფრაგმენტები დოღურაში I და II ლითონის სადნობი სახელოსნოები; ბ) ორნამენტიანი საბერველი მილის ფრაგმენტები. გ) საბერველი მილის გრაფიკული ჩანახატები

ტექნიკური კერამიკის უმნიშვნელოვანეს ნაწილია ტიგელის ფრაგმენტები (crucible) (Hein A., 2007). ტიგელები დამზადებულია მსხვილმარცლოვანი ნაცრისფერი ცეცხლგამძლე თიხისგან. ტიპოლოგიურად სადნობი ჭურჭლის ორი ძირითადი ტიპი ფიქსირდება: სქელკედლიანი დიდი ზომის და თხელკედლიანი შედარებით მომცრო ზომის. დიდი ზომის ტიგელის ფრაგმენტებს რამდენიმე ფენიანი წიდა აქვთ შერჩენილი არა მხოლოდ შიდა კედლებზე (მრავალია აღწერილ მასალაში), არამედ ტიგელის პირის ზემოთაც არის ამოსული, რაც ნიშნავს, რომ ლითონი დუღილის პროცესის დროს აქაფდა და თიხის ჭურჭელიდან ზემოთ ამოვიდა (სურ. 46 ა. შუა რიგში მარცხნიდან მეხუთე და 46 გ, მარცხენა ორი ნიმუში).



ა

ბ



ბ

სურ. 46. ორი ტიპის ტიგელის ფრაგმენტების ფოტო და გრაფიკული ჩანახატები

ლითონის დნობისას წარმოიქმნება დიდი რაოდენობით აირები, რომელთა გენერაცია გამდნარი მასის თავზე ხდება და იწვევს თხევადი წილის აქაფებას, რაც პირდაპირ დამოკიდებულია თხევადი წილის ფიზიკურ თვისებებზე. არსებობს

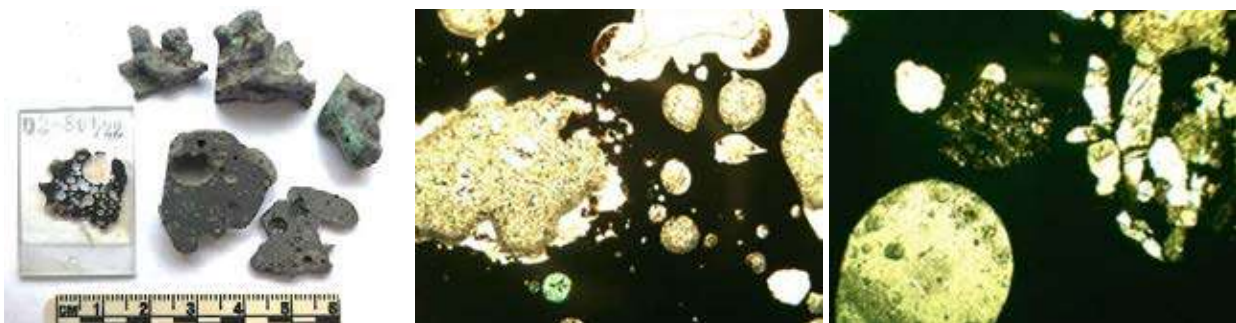
რამდენიმე ფაქტორი, რომელიც ამცირებს წიდაზე წარმოქმნილი ქაფის რაოდენობას, ესენია: FeO-ს შემცველობა, სიბლანტე, ნახშირბადის და ჟანგბადის ინექცია (Vieira D., et al., 2017). შედარებით თხელკედლიან და მომცრო ზომის კერამიკის ფრაგმენტებზე ლითონის დნობის კვალი საერთოდ არ ფიქსირდება, ან ძალიან იშვიათად. მათ შიდა მხარეზე თითქოს ჭიქურის კვალი ჩანს, ასევე ზოგიერთ მათგანზე სპილენძის ჩანწინწკლებიც გვხვდება. სავარაუდოა, რომ ამ ორი ტიპის ტიგელის ფრაგმენტების არსებობა უკავშირდება ლითონის დნობის სხვადასხვა საფეხურებს და განსხვავებული პროცესებისთვის იყო გამოყენებული (Zhenfei S., 2022). საინტერესოა და აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ ორივე ტიპის ტიგელის ფრაგმენტები მხოლოდ ჭურჭლის გვერდებისა და პირების ფრაგმენტებით გვხვდება, ხოლო კერამიკის ჭურჭლის ძირის ნაწილი, ძალიან იშვიათია (ორი ფრაგმენტი). შესაძლოა ამის ერთ-ერთი მიზეზი იყოს მაღალ ტემპერატურაზე ძირის ადვილად დაზიანება/დაშლა და ძირს მოგროვილი გადამდნარი ლითონის მასის (pure ingot) ამოღებისას მისი დამსხვრევა მეტალურგების მიერ.

2.2 პეტროგრაფიული ანალიზი

პროექტის ფარგლებში პეტროგრაფიული ანალიზი ჩატარდა ლეჩხუმის-ქვემო სვანეთის პრეისტორიული ლითონის სადნობ სახელოსნოებზე მოპოვებულ წიდებსა და მინერალიზებულ ქანთა ნიმუშებს. 70-მდე გამჭვირვალე ანათალი კავკასიის მინერალური ნედლეულის ლაბორატორიაში დამზადდა, ხოლო პეტროგრაფიული აღწერები, საქართველოს ეროვნული მუზეუმში, პოლარიზაციული მიკროსკოპის - OM239P-ის საშუალებით ჩატარდა.

წიდების პეტროგრაფია. პეტროგრაფიისთვის შერჩეული წიდები მაკროსკოპული მახასიათებლების მიხედვით დაიყო: (ა) ფოროვანი, მსუბუქი წიდებად - ნალვენეთები; (ბ) მასიური, ერთგვაროვანი ნიმუშები - ე. წ. კვერის ფორმის წიდები.

(ა) # D2-801/22 - ნალვენთი წიდა (ფოროვანი, მსუბუქი, მალაქიტებით).



სურ. 47 ა). წიდის ნიმუში #D2-801/22; მიკროფოტოები: ბ). x25 xpl; გ.) x40 xpl.

D2-801/22 ნიმუშის მიკროფოტოზე ჩანს, რომ მინისებრ იზოტროპულ ძირითად მასაში გაბნეულია სხვადასხვა ზომის ფორები, სულფიდთა და სპილენძის კარბონატის ჩანაწინწკლები (მწვანე ფერის ოვალური ჩანართი) (ბ) და კვარცის სხვადასხვა ზომის გადაუმდნარი კრისტალები (ცენტრში - მარჯვნივ თეთრი ბიპირამიდული ფორმის კრისტალები (გ)). წილის სტრუქტურა მდნარის სწრაფი გაციების ფაზას ასახავს.

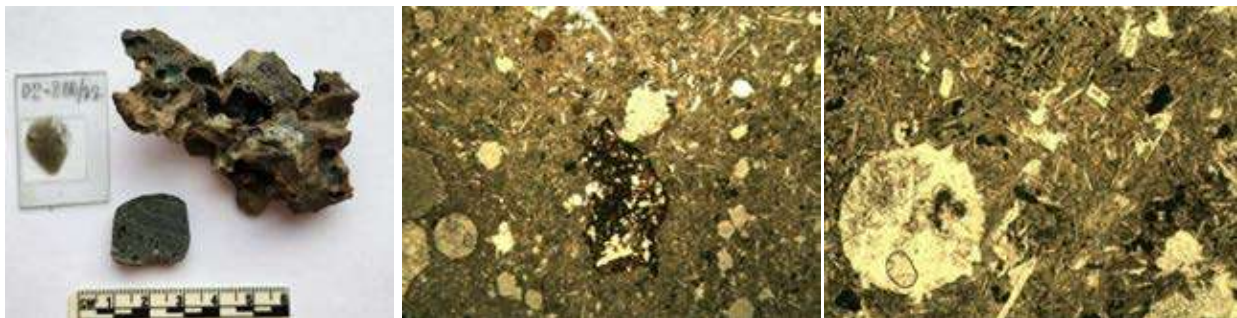
(ა) # Gv-676/22 - ნალვენთი წიდა (ფოროვანი, დაჟანგული, მსუბუქი).



სურ. 48 ა). წილის ნიმუში # Gv-676/22; მიკროფოტოები: ბ). X40 xpl; გ). x100 ppl.

Gv-676/22 -ის ნიმუშის ძირითადი მასის სტრუქტურა ჰიპოკრისტალურია, სადაც მინა ჭარბობს კრისტალებს. (ბ) მიკროფოტოზე ჩანს ასევე წვრილკრისტალური კვარცის მიკროკრისტალები, სხვადასხვა ზომის ფორები და დაჟანგული მეტალთა ჩანაწინწკლები.

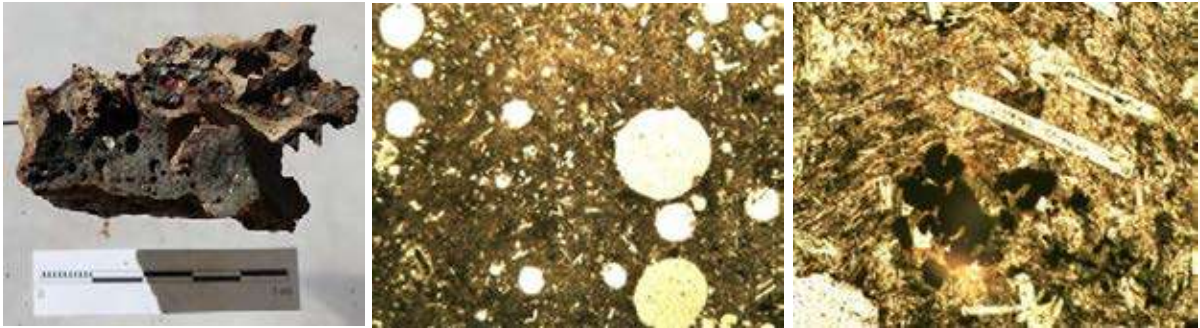
(ა) # D2-800/22 - ნალვენთი წიდა (ფოროვანი, მალაქიტის ნაფიფექებითა და ნახშირის ჩანართებით).



სურ. 49 ა). წილის ნიმუში # D2-800/22; მიკროფოტოები: ბ). X40 ppl; გ). x100 ppl.

D2-800-22 ნიმუშის ძირითადი მასა ამორფული მინისა და წვრილმარცვლოვანი/კრისტალური ნარევა, რომელიც წარმოდგენილია ოლივინით (ფაიალიტი, Fe_2SiO_4), იშვიათად პიროქსენით. გვხვდება სპილენძის სულფიდების ან მეტალური სპილენძის ჩანართები; (ბ) მიკროფოტოს ცენტრში ჩანს ნახშირის ფრაგმენტი.

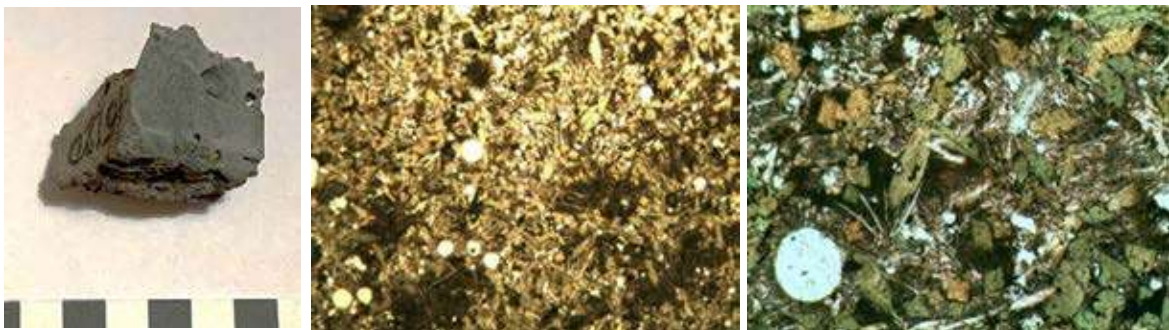
(ა) # D11/20 - ნაღვენთი წიდა (ფოროვანი, მალაქიტისა და ოქსიდების ჩანართებით).



სურ. 50 ა). წიდას ნიმუში #D11/22; მიკროფოტოები: ბ). x25 ppl; გ). x100 ppl.

D11/20 ნიმუშის მიკროფოტოზე ჩანს ნახევრადკრისტალური სტრუქტურა, რომელიც აგებულია სილიკატური მინის, ფაიალიტის, მაგნეტიტის მარცვლებით (შავი მარცვლები) და სპილენძის ჩანართებით.

(ბ) # Ok15/20 - მასიური წიდა - ე. წ. კვერის ფორმის წიდას ჰომოგენური ნაწილი, ფორების გარეშე.



სურ. 51 ა). წიდას ნიმუში # Ok15/20; მიკროფოტოები ბ). x25 ppl; გ). x100 xpl.

Ok15-20 ნიმუში გვიჩვენებს სრულკრისტალურ სტრუქტურას, რომელიც ოლივინისა (ფაიალიტი) და პიროქსენის კრისტალებისაგან (მწვანე) შედგება. გვხვდება ასევე ოვალური ფორმის სპილენძის ჩანართები (თეთრი).

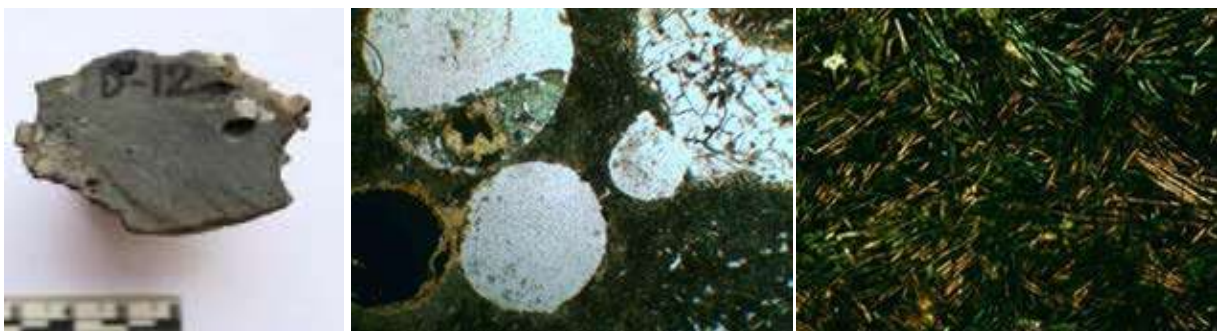
(ბ) # Ok671/22- კვერის ფორმის წილის ჰომოგენური ნაწილი. ნიმუშზე ჩანს სულფიდთა ჩანაწინწკლები.



სურ. 52 ა). წილის ნიმუში # Ok671/22; მიკროფოტოები: ბ).x100 xpl; გ). X40 ppl.

Ok671/22- ნიმუშის მიკროფოტოს ცენტრალურ ნაწილში ოვალური ჩანართი შეიცავს სპილენძის სულფიდებს - ქალკოპირიტიდან მეტალურ სპილენძამდე (ბ); ტიპიურ სპილენძის წილის სტრუქტურა და შედგენილობა - ფაიალიტის, მაგნეტიტისა და პიროქსენის კრისტალების ერთობლიობას ასახავს (გ).

(ბ) # D12/19 - მასიური წილის, ჰომოგენური ნაწილი, მცირე რაოდენობის და ზომის ფორებით.

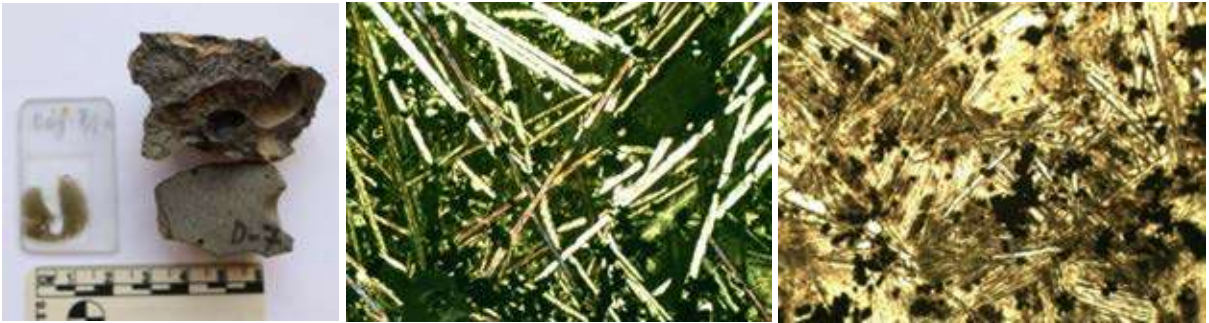


სურ. 53 ა). წილის ნიმუში # D12/19; მიკროფოტოები: ბ).x100 xpl; გ). x100 ppl.

D12/19-ის პირველ მიკროფოტოზე ფორებში გვხვდება ზოგან სულფიდები (მწვანე) და კვარცით ჩანართი (მარჯვნივ); შლიფი აგებულია ფაიალიტის ნემსისებრი

ქაოსურად ორიენტირებული კრისტალებისაგან (მაღალინტერფერენციული ფერებით) (გ).

(ბ) #D7/19 - კვერის ტიპის წიდის ჰომოგენური ნაწილი.



სურ. 54 ა). წიდის ნიმუში # D7/19; მიკროფოტოები: ბ).x100 xpl; გ). x100 ppl.

ნიმუში #D7/19 ჩანს სპილენძის დნობის განსხვავებული ფაზა - ფაიალიტის წაგრძელებული (მაღალინტერფერენციული ფერები) კრისტალები მინისებრ ძირითად მასაშია გამოკრისტალებული, სადაც ასევე გვხვდება მაგნეტიტის (შპინელის) მარცვლები (შავი ფერის აგრეგატები).

(ბ) #D1/19 მასიური, ჰომოგენური წიდა, სპილენძის ჩანაწინწკლებით.



სურ. 55 ა). წიდის ნიმუში # D1/19; მიკროფოტოები: ბ). X 25 ppl; გ). X40 xpl.

D1/19 შლიფი აგებულია ფაიალიტისა და პიროქსენის კრისტალებით, ძალიან მცირეა სილიკატური მინის როლი; (ბ) მიკროფოტოზე ჩანს სულფიდური ჩანართები (ოქროსფერი).

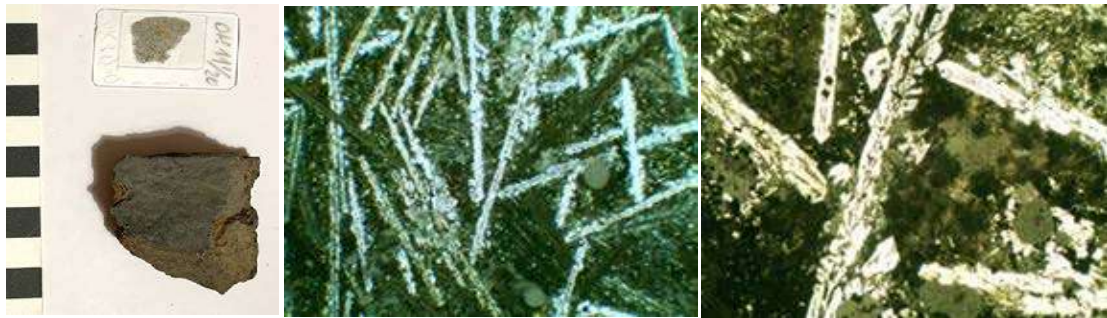
(ბ) #Dog. 6.20" - ჰომოგენური მასიური წიდა, მცირე რაოდენობით ფორებისა და ქვედა კიდეში კვარცის ჩანართებით.



სურ. 56 ა). წიდის ნიმუში # D1/19; მიკროფოტოები: ბ). X 40 xpl; გ). X100 ppl.

Dog. 6.20" კვერის ტიპის წიდის ჰომოგენური ნაწილის შლიფი აგებულია ფაიალიტის წაგრძელებული კრისტალების (მაღალინტერფერენციული ფერებით), პოროქსენისა და მაგნეტიტის შავი (ოპაკური) კუბის ფორმის კრისტალებისგან. ბ მიკროფოტოზე თეთრი რკალით შემოსაზღვრულია სპილენძის ჩანაწინწკლები.

(ბ) # Ok-11/22 – მასიური, ჰომოგენური წიდა, რომელზეც შეუიარაღებელი თავლითაც ჩანს ფაიალიტის წაგრძელებული/ ჩხირისებრი კრისტალები.



სურ. 57 ა). წიდის ნიმუში # Ok11/22; მიკროფოტოები: ბ). X 40 xpl; გ). X100 ppl.

Ok-11/22 ნიმუში აგებულია ფაიალიტის ძეწკვისებრი კრისტალებით. ოლივინის აღნიშნული ფორმა კ. დონალდსონის (1976) კვლევის მიხედვით ნიშნავს, რომ წიდის გაციების სიჩქარე დაბალია და საათში 40°C-ია. (გ) მიკროფოტოზე ზედა კიდეში ჩანს ასევე მაგნეტიტს დენტრიტები და ოვალური ფორმის სპილენძის ჩანართები (ნაცრისფერი გლუვი მასა).

(ბ)# D-22/22 მასიური, ერთგვაროვანი წიდა, შეუიარაღებელი თვალთ ჩანს სპილენძის ჩანაწინწკლები.



სურ. 58 ა). წიდის ნიმუში # Dog22/22; მიკროფოტოები: ბ). X 40 xpl; გ). X100 ppl.

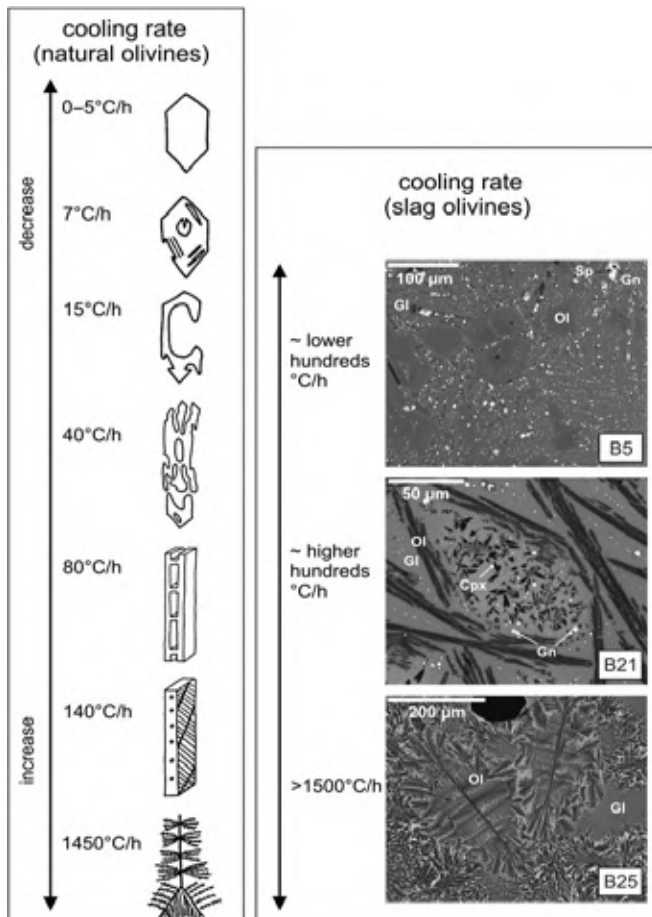
D-22/22 ნიმუში თითქმის მსგავსია Ok-11/22 წიდისა. აქ უფრო კარგადაა განვითარებული ოლივინის (ფაიალიტის) ძეწკვისებრი კრისტალები და მაგნეტიტის დენტრიტები (პირველი მიკროფოტოზე ცენტრში მწვანე ფერი). (გ) მიკროფოტოზე ჩანს მარჯვნივ თეთრი ფერით სპილენძი.

წიდების პეტროგრაფიული ანალიზის შედეგები

შესწავლილი წიდების მიკროსტრუქტურები გვიჩვენებს კრისტალიზაციის ორ ფაზას: (1) მასიური კვერისებრი ტიპის წიდებისთვის, განსაკუთრებით მათი ცენტრალური და ქვედა ნაწილებისთვის დამახასიათებელია კრისტალური მიკროსტრუქტურა. იგი წარმოდგენილია ფაიალიტის (ოლივინის) ნემსისებრი ან ძეწკვისებრი კრისტალების, კლინოპროქსენის რადიალური კრისტალებისა და მაგნეტიტის (წვრილი დენტრიტებიდან მსხვილ მრავალწახნაგა აგრეგატებამდე) ერთობლიობით; სპილენძის სულფიდებისა და მეტალური სპილენძის ჩანაწინწკლებთან (prill) ერთად. (2) დნობის მეორე ფაზას ასახავს ჰიპოკრისტალურიდან ნახევრადკრისტალურამდე მანგანიუმითა და რკინით მდიდარი სილიკატური მასა; ის შედგენილია სხვადასხვა ზომის კვარცის კრისტალებით, მაგნეტიტის მარცვლებითა და იშვიათად ლითონის ჩანართებით, რომელიც უმეტესად დაჟანგულია სპილენძის ოქსიდების, კარბონატების ან ქლორიდების სახით. ეს ფაზა დამახასიათებელია ნაღვენთებისა და მცირე ზომის მსუბუქი ძლიერ ფოროვანი წიდებისთვის.

ამრიგად, ლეჩხუმი-ქვემო სვანეთის გვიანბრინჯაოს ლითონის სადნობ სახლოსნობებზე მოპოვებული წიდების პეტროგრაფიული კვლევის შედეგად გამოიკვეთა დნობის ორი ფაზა: (1) კრისტალური ფაზა და (2) მინისებრი; როგორც წესი კრისტალურ ფაზაში მინისებრი ფაზისგან განსხვავებით ხშირია სპილენძის სულფიდების ან მეტალური სპილენძის ჩანართები (სურ. 60 ბ).

წიდეების ტიპოლოგია ასევე დაკავშირებულია ტიგელში მდნარის გაგრილების სიჩქარესთან. ბუნებრივია, რომ დიდი მოცულობის წიდეები ჩვეულებრივ მიუთითებს ნელ გაგრილებაზე, ხოლო მცირე მოცულობის წიდეებში კი პირიქით. ოლივინის კრისტალის ჰაბიტუსის/მორფოლოგიის ცვლილების მიხედვით შესაძლებელია მდნარის გაგრილების სიჩქარის უხეშად გამოთვლა (Donaldson 1976). მაგალითად პრიზმული ოლივინების არსებობა მასიურ წიდეებში ნელი გაგრილების სიჩქარეზე მიუთითებს $0-5^{\circ}\text{C}/\text{სთ}$ -ში; ძაბრისებრი და დატოტვილი ფორმის ოლივინიანი მდნარის გაგრილების სიჩქარე საათში 7°C -დან 15°C -მდეა; ქაოსურად და პარალელურად ორიენტირებული ძეწკვისებრი ოლივინები მდნარის გაგრილების მაღალი სიჩქარის მარკერია და შეესაბამება $40-80^{\circ}\text{C}/\text{სთ}$ -ს; ხოლო ბადისებრი, ფირფიტისებრი და ბუმბულის მსგავსი დენდრიტები მდნარში ადასტურებს, რომ მისი გაგრილების სიჩქარე 1500°C -ზე ნაკლებია (სურ. 59).

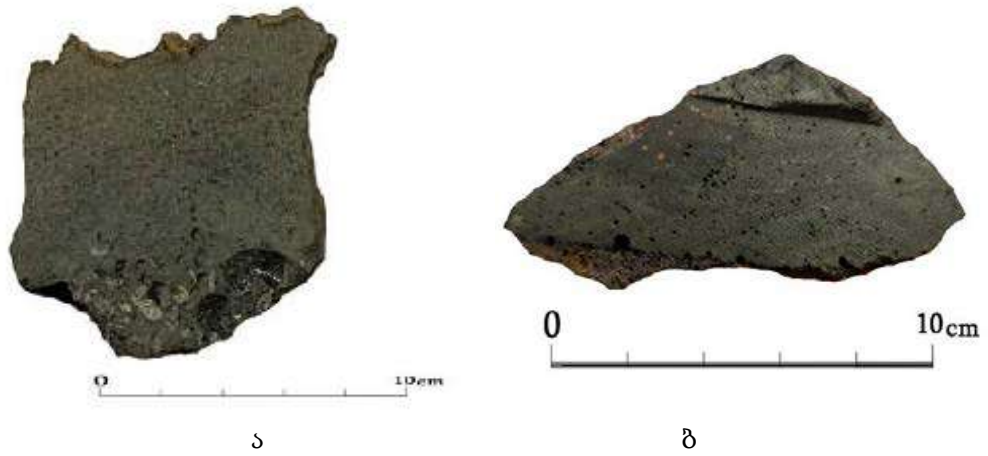


სურ. 59. ბაზალტური მდნარში ექსპერიმენტით მიღებული ოლივინის (ფორსტერიტის) კრისტალთა ფორმის ცვლილებები გაგრილების სიჩქარის მიხედვით (Donaldson 1976), რომელიც შედარებულია Bohutín-ის (ჩეხეთი) არქეომეტალურგიულ ძეგლზე მოპოვებული წიდეებში არსებულ ფაიალიტის ფორმებთან. ფოტოები გადაღებულია ელექტრონული მიკროსკოპით (SEM). აბრევიატურა: Ol, ოლივინი; Gl, მინა; Gn, ტყვია; Sp, სფალერიტი; Cpx, კლინოპიროქსენი. (V. Ettler და სხვ., 2009).

ლექსუმის სადნობ სახელოსნოზე წიდეების შედგენილობაში არსებული ფაიალიტის კრისტალთა განსხვავებული ფორმები შეესაბამება გაცივების სხვადასხვა სიჩქარეს.

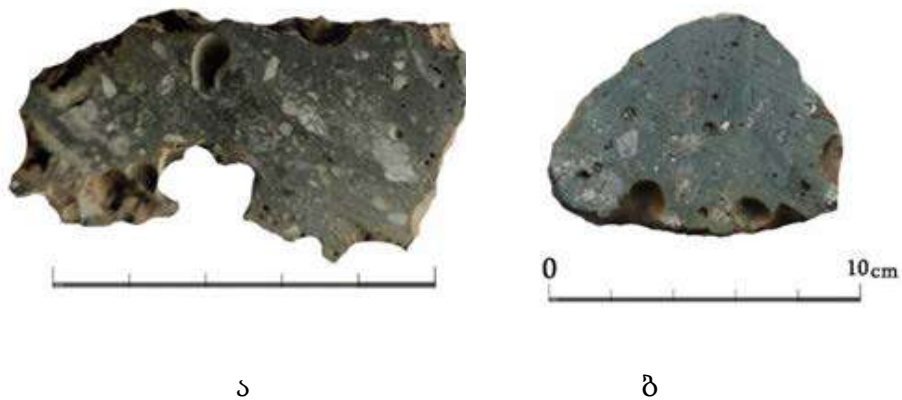
აღწერილი შლიფების მიხედვით ჩანს, მასიური წიდეებში უმეტესად გვხვდება წაგრძელებული და ქაოტურად ორიენტირებული მორფოლოგიის მქონე ოლივინის (ფაიალიტის) ნემსისებრი კრისტალები და კრისტალთა ძეწკვები, რომელთა გაგრძელების სიჩქარე საათში 40-80°C-ია; შედარებით იშვიათია ბადისებრი-ძეწკვისებრი ოლივინის კრისტალებისგან შემდგარი მდნარი, რომელიც ნაღვენთის ტიპის წიდეებში დაფიქსირდა. ასეთი მორფოლოგიის კრისტალთა მდნარი საათში 90-140°C-ით კარგავს ტემპერატურას (უფრო სწრაფად გრილდება). ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ მასიური წიდეების ქვედა ნაწილებში ოლივინის კრისტალთა ზომა რამდენადმე აღემატება ზედა ნაწილებში არსებულ ზომებს და აღწევს 200-300µm მიკრონს (0,2-0,3 მმ), რაც შეუიარაღებელი თვალითაც არის შესამჩნევი (სურ. 60).

კ. დონალდსონის (1976) კვლევის თანახმად, რომელიც ეფუძნება ფაიალიტის კრისტალების იდენტიფიკაციას, ჩანს, რომ ლეჩხუმის გვიან ბრინჯაოს ხანის მასიური წიდეები (კვერები) გრილდებოდა 40-80°C სიჩქარით საათში; რაც ნიშნავს, რომ სპილენძის მასიური (კვერისებრი/ქურის) წიდის გაციება გრძელდებოდა საშუალოდ 24 საათის განმავლობაში, ხოლო ნაღვენთი წიდეების გაგრძელება დაახლოებით 10-12 საათში.



სურ. 60. თვალთ ხილული ფაიალიტის კრისტალები და სპილენძის ჩანართები დოღურაშის მიდამოებში აღმოჩენილ მასიურ წიდეებში; ა).#D 6/20; ბ). #D 22/22

შესწავლილი წიდეების უმეტესობა ბოლომდეა გადამდნარი, ასეთი წიდეები თითქმის არ შეიცავს ქანის ჩანართებს. თუმცა გვხვდება ისეთებიც, რომელიც სრულად არ არის გამდნარი/გათხიერებული (not fully liquefied) და შეიცავს კვარცის ჩანართებს (სურ. 61). წიდეებში კვარცის ჩანართების არსებობაზე სხვადასხვა დროს გამოითქვა რამდენიმე მოსაზრება. ერთერთის მიხედვით კვარცს შეგნებულად უმატებდნენ მდნარს წიდის გასამკვრივებლად და უფრო ადვილად დასამსხვრევად (Rothenberg & Blanco-Freijeiro 1981).



სურ. 61. კვარცის ჩანართები წიდებში; ოყურემის სადნობი სახელოსნოებიდან; ა).Ok11/20; ბ). Ok12/20.

მოგვიანებით რ. თილეკოტმა ივარაუდა, რომ კვარცი მდნარს დნობის ბოლო ეტაპზე, გასქელებისთვის ერეოდა, რაც საშუალებას იძლეოდა ადვილად ამოღებულიყო ქურიდან წიდა (Tylecote, 1987). პ. კრადოკის აზრით კვარცი არ შედის რეაქციაში მდნართან და ამიტომაც მას პროცესის დასასრულს უმატებდნენ, რადგან ამ დროს წიდა უფრო სწრაფად ცივდება და ხდება უფრო მყარი (Craddock, 2013). ა. ჰაუპტმანი განმარტავს, რომ წიდაში დაუმლელი კვარცის ჩანართები გაულღობელი მადანშემცველი ქანის ნარჩენები/რესტიტები უნდა იყოს (Hauptmann, 2000).

სავარაუდოდ საკვლევ ტერიტორიაზე მოპოვებულ წიდებში არსებული კვარცის ჩანართებიც მადანშემცველი ქანის ფრაგმენტებია, რადგანაც ლეჩხუმის ტერიტორიაზე არსებული მადნების უმეტესობა სწორედ კვარცის ძარღვებთან ასოცირდება.

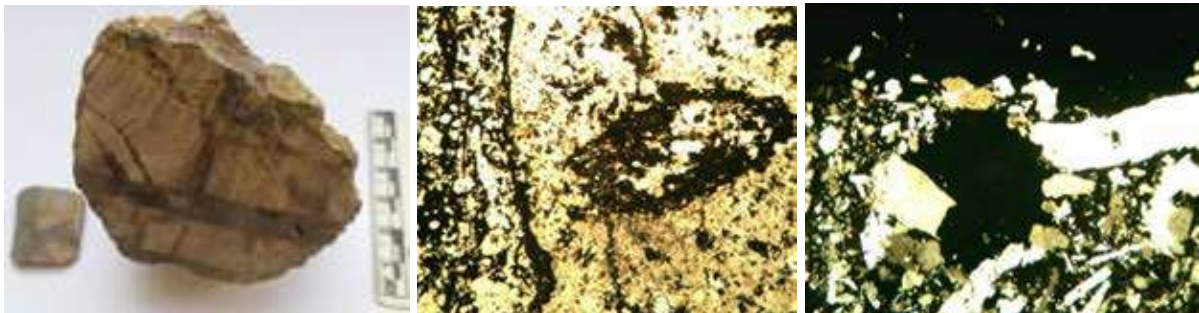
2013-2022 წლებში აღმოჩენილი არტეფაქტების ტიპოლოგიური კვლევის შედეგად გვიანბრინჯაო-ადრერკინის ხანის სპილენძის სადნობ სახელოსნოებზე სამი ძირითადი ტიპის წიდის არსებობა დგინდება: (1) მასიური (კვერის ფორმის), (2) ნალვენთი და (3) ფირფიტისებრი წიდები (Flat slags). მიჩნეულია, რომ აღნიშნული ტიპის წიდები ლითონის დნობის სხვადასხვა ფაზის პროდუქტებია, ხოლო ქვიშა-ხვინჭკიანი წიდა (რომელიც მძლავრი ფენებით გვხვდება ლითონის სადნობ სახელოსნოებზე) მასიურისა და ნალვენთი წიდების დერვატი/გადამუშავების შედეგია (Addis A., 2012).

ტიპოლოგიური და პეტროგრაფიული კვლევის შედეგები ერთმანეთთან კორელაციაშია და გვიჩვენებს წიდების დიფერენციაციას. ამ ეტაპზე მთიანი კოლხეთის სპილენძის სადნობ სახელოსნოებზე გამოიკვეთა ლითონის დნობის ორი ფაზა, რომლის დროსაც მიიღება: (1) მასიური კვერის ფორმის წიდები და (2) მსუბუქი,

ფოროვანი - ნალვენთი წიდეები. რაც შეეხება ფირიფიტისებრ წიდეებს, მათი არსებობა მხოლოდ შედარებით-ტიპოლოგიური მეთოდით დგინდება. რადგანაც მათზე ამ ეტაპისთვის მათი პეტროგრაფიული და ქიმიური კვლევა არ განხორციელებულა. მომავალში, გათხრების გაფართოების შემდეგ, იგეგმება მათი კვლევა, რადგანაც არსებობს ჰიპოთეზა, რომ იქ სადაც არსებობს ფირიფიტისებრი წიდეები დნობა ორი საფეხურიანია და ადგილი აქვს როგორც წინასწარ გამოწვას ასევე დნობას (D'Amico et al., 1998). ფირიფიტისებრი წიდეებიდან მეტალურგიული პროცესის განმავლობაში ლითონი სრულად გამოდევნილია და მათი გადამუშავება ფლუსის სახით ხდებოდა, (Haubner R., et al., 2019).

მინერალიზებული ქანების პეტროგრაფია

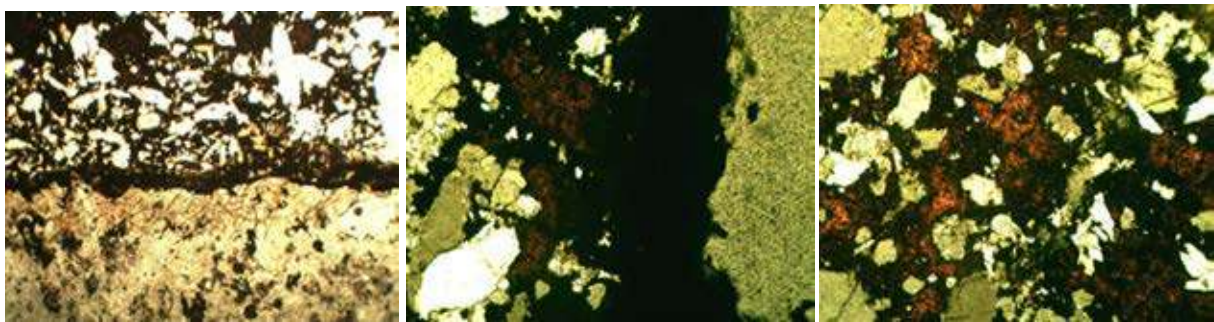
ნიმუში # D672/22' – ბრეჩირებული წვრილმარცვლოვანი კვარციანი ქვიშაქვა, ნაპრალები ამოვსებულია ოქსიდიზირებული მადნეული მინერალებით (სურ. 62 ა).



სურ. 62 ა) Dog672/22'

ბ) X25 ppl

გ) X25ppl



სურ. 62 დ) X40 ppl

ე) X100 xpl

ვ) X100 xpl

ქანი ძლიერ არის გაკვარცხული, მას შლიფის დაახლოებით 60 % უკავია. დანარჩენ ფართობზე განვითარებულია სულფიდური მინერალები, რომელთა ნაწილი

ლიმონიტიზირებულია (ჟანგისფერი უბნები - სურ. 62 ვ). მიკროფოტოზე ჩანს კონტაქტის ზონა ძირითად ქანსა და სულფიდურ მარღვს შორის (სურ. 62 დ).

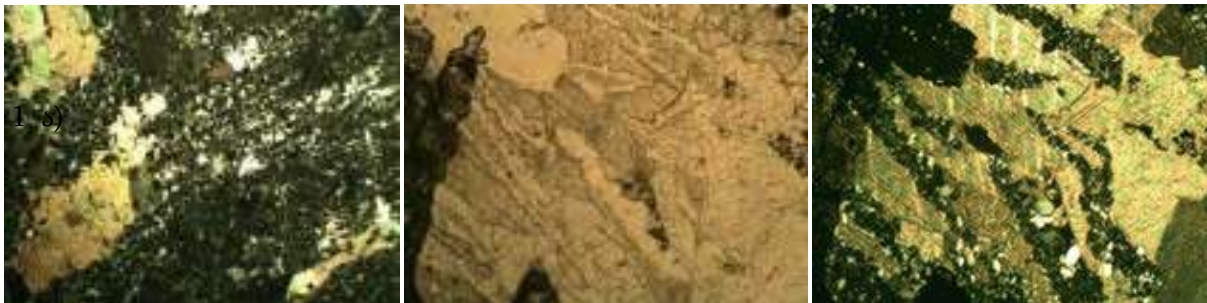
ნიმუში #D43/17 – მარღვული ქანი კონტაქტის ზონიდან (სურ. 63 ა).



სურ. 63 ა) D43/17

ბ) X25 ppl

გ) X25xpl



სურ. 63 დ) X40 xpl

ე) X100 xpl

ვ) X100 xpl

ქანი უმეტესად კალციტით (მოვარდისფრო-მომწვანო) და კვარცით (ნაცრისფერი და თეთრი) არის აგებული; გვხვდება ასევე ბოჭკოვანი (Fibrous) კვარცის მარღვაკები (სურ.63 გ და დ), რომელთაც გაკვეთილი აქვთ კალციტები. ჩვეულებრივად მსგავსი მარღვული მინერალები სავსეა მადნეული მინერალებით. კონკრეტული ნიმუში ღარიბია და არ შეიცავს მათ.

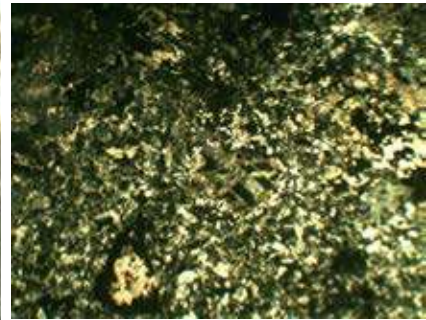
ნიმუში #D28/17 – მომწვანო მინერალიზებული და გაკვარცებული ქანი (სურ. 64 ა).



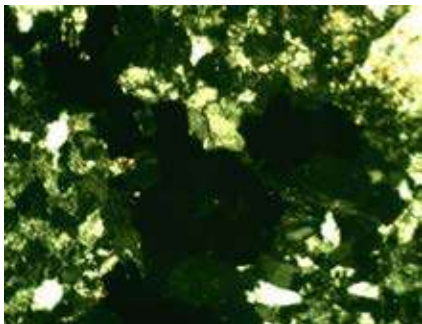
სურ. 64 ა) D28/17



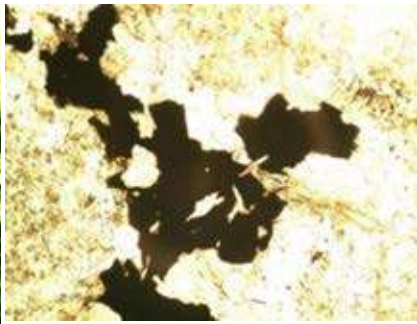
ბ) X25 ppl



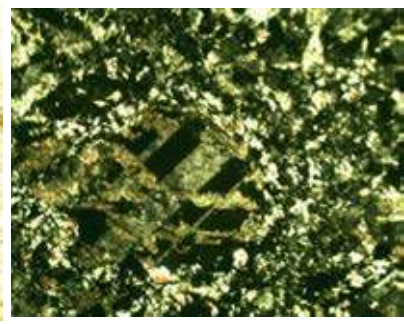
გ) X25xpl



სურ. 64 დ) X100 xpl



ე) X100 ppl



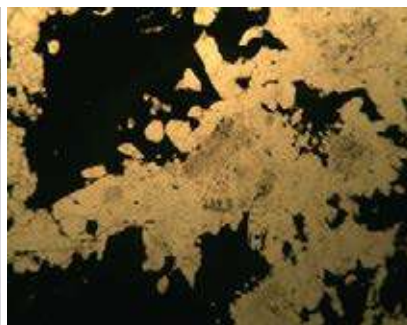
ვ) X100 xpl

პორფირული ქანი ძლიერ შეცვლილია, დამსხვრეული, პლაგიოკლაზის პორფირული გამონაყოფები თითქმის გათიხებულია, რომელთა შიგნით გვხვდება ეპიდოტ-ციოზიტის ჯგუფის მინერალები (და ვარდისფერი); მადნეული მინერალები მთლიანად შემოჭრილია ქანში და ქმნის გროვებს (შავი ფერის მინერალები); შლიფში გვხვდება წვრილმარცვლოვანი კვარცის გამონაყოფები, დაახ. 70%.

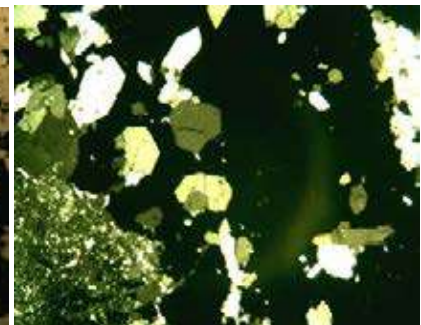
ნიმუში #D45'/18 – მუქი ნაცრისფერი ძლიერ მინერალიზებული ქანი კვარცის მარღვებით (სურ. 65 ა).



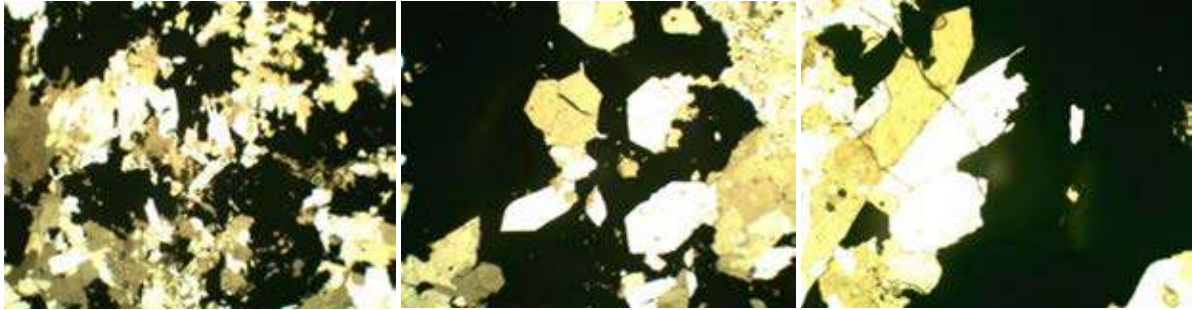
სურ. 65 ა) D45'/18



ბ) X25 ppl



გ) X25xpl



სურ. 65

დ) X40 xpl

ე) X100 xpl

ვ) X100 xpl

შლიფის 50% ორი გენერაციის, იდიომორფული (პირამიდული თეთრი კრისტალები) და მიკროკრისტალური კვარცისგან შედგება, ხოლო მეორე ნახევარი გალენიტით (მუქი ნაცრისფერი, სურ. 64 გ), ქალკოპირიტითა და პიროტინითაა შევსებული.

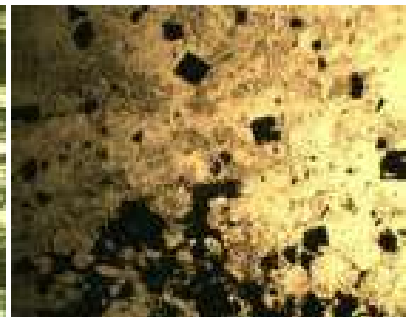
ნიმუში #D46/17 – წვრილმარცვლოვანი, ოქსიდიზირებული ქანი (სურ. 66 ა).



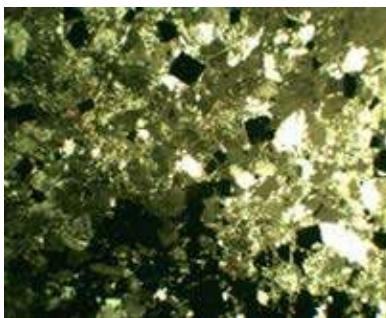
სურ. 66 D46/17



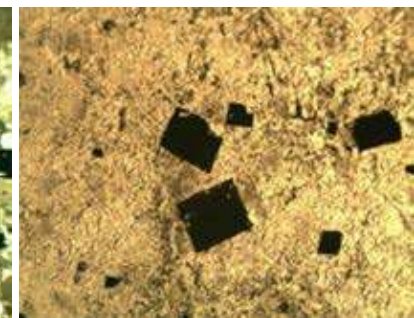
ბ) X25 ppl



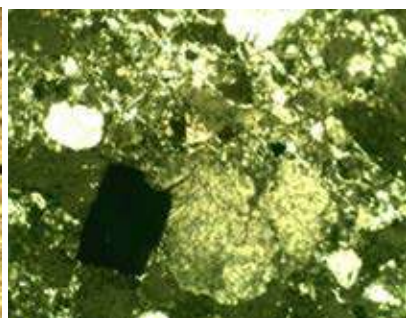
გ) X25xpl



სურ. 66 დ) X40 xpl



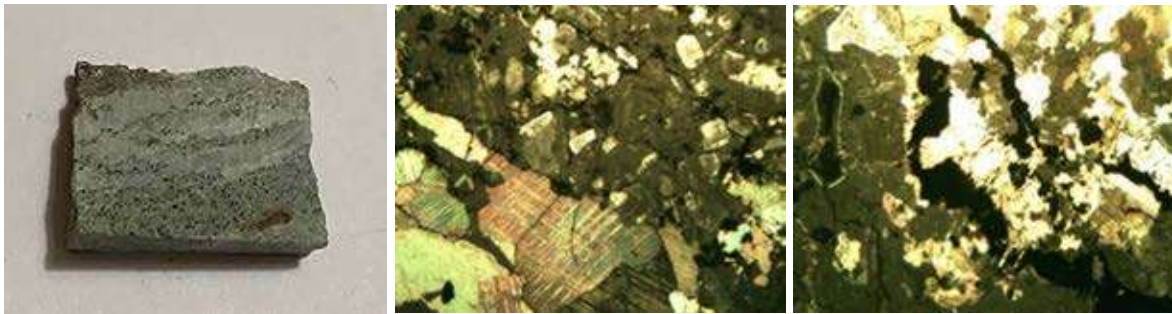
ე) X100 ppl



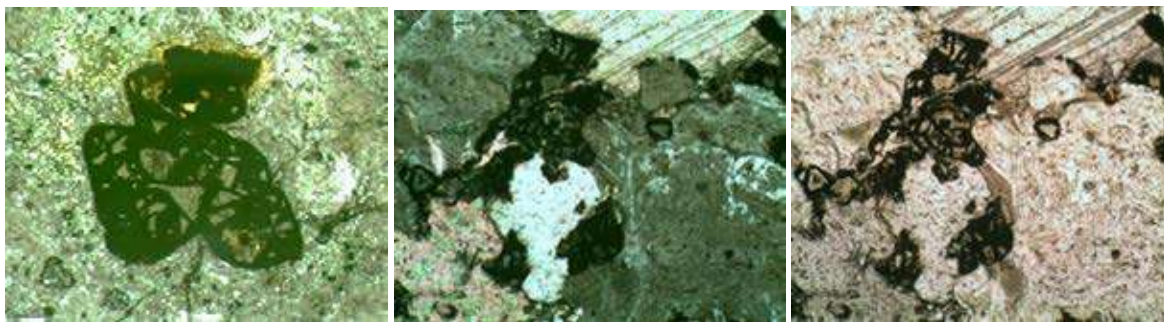
ვ) X100 xpl

ინტენსიურად შეცვლილი კვარციანი ქვიშაქვა, პირიტიზირებულია, რომელიც ზოგან ერთიან გროვებს ქმნის (სურ. 66 გ); პირიტი ასევე გვხვდება ცალკეული კუბური ფორმის (შავი მინერალები/იზოტროპული) კრისტალების სახით (სურ. 66 ბ, ე, ვ).

ნიმუში #Op18/20 - პორფირული მომწვანო ფერის ქანი მადნეული მინერალების ჩანართებითა და თეთრი ფერის ძარღვებით (სურ. 67 ა).



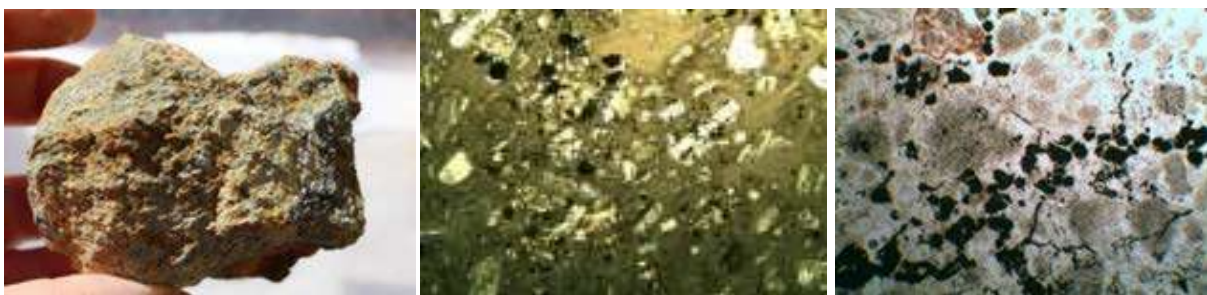
სურ. 67 ა) Op18/20 ბ) X25 xpl გ) X25ppl



სურ. 67 დ) X40 ppl ე) X100 xpl ვ) X100 ppl

სტრუქტურა ალოტრიომორფულმარცვლოვანი. ძირითადი ქანი მთლიანად შეცვლილი, გაქლორიტებულია, ჩანს კვარცის ძარღვები (მარჯვენა კუთხე - სურ. 67 გ) და ასევე დიდ ზომის კალციტები (ვარდისფერი კრისტალი, მესერიტ სურ 67 ბ, ე და ვ - ზედა მარჯვენა კუთხე). რაც შეეხება სულფიდებს ისინი ზოგან კვარცის ძარღვებს მიუყვებიან პარალელურად (სურ. 67 გ), ზოგან კი ქმნიან ბრექჩიებს (სურ. 67 დ, ე, ვ - მუქი ფერის გროვები კუთხოვანი ჩანართებით).

ნიმუში #Op28/20 – პორფირული ქანი, მეტალთა ჩანართებით, რომელთა შორის ნაწილი ოქსიდიზირებულია (სურ. 68 ა).



სურ. 68 ა) Op18/20 ბ) X25 xpl გ) X40ppl



სურ. 68 დ) X40 ppl

ე) X100 xpl

ვ) X100 ppl

ძირითადი ქანის პორფირული სტრუქტურა ჯერ კიდევ შერჩენილი აქვს. შლიფში ჩანს პლაგიოკლასის პორფირული გამონაყოფები, რომელთაც ახასიათებთ ზონალობა და პოლისინთეტური მრჩობლები, ისინი ძლიერ დამსხვრეული და ასევე ძლიერ შეცვლილ ძირითად მასაშია მოქცეული, სადაც ასევე გვხვდება მადნეულ მინერალთა გლობულარული მარცვლები (შავი) და ჰემატიტიზაცია, რომელსაც რომლიდაც მინერალის სივრცე აქვს დაკავებული, რომლის იდენტიფიკაცია შეუძლებელია.

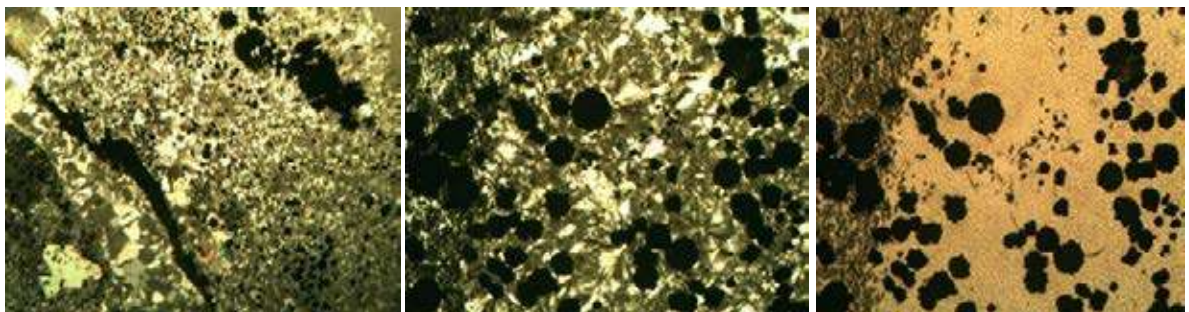
ნიმუში #Op62/20 – ღია ფერის პორფირული ქანი, სულფიდთა ჩანაწინწკლებით (სურ. 69, ა).



სურ. 69 ა) Op62/20

ბ) X25 xpl

გ) X40ppl



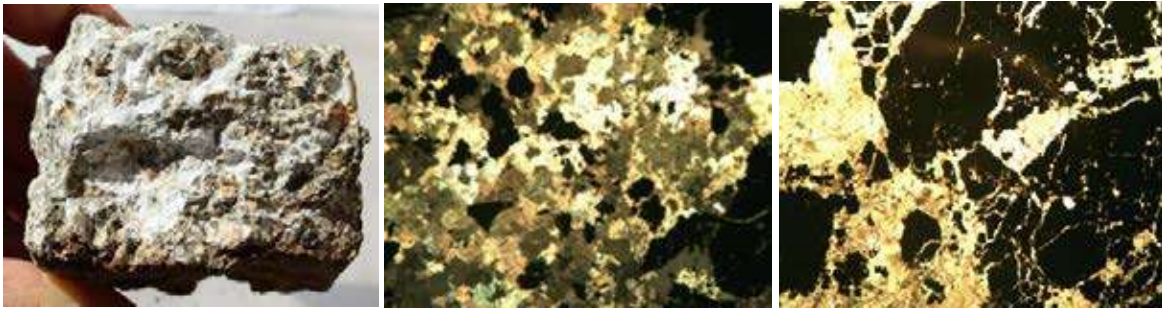
სურ. 69 დ) X40 ppl

ე) X100 xpl

ვ) X100 ppl

ნიმუში Op62/20 იგივე ქანია რაც Op28/20, მაგრამ აქ უკვე ძირითადი ქანის მინერალები მთლიანად კვარცითა და კალციტით არის ჩანაცვლებული (სურ. 69 ბ - ქვედა ნაწილი). ქანს აქაც ანალოგიური გამადნების პროცესი აქვს განცდილი. მრავალრიცხოვან სულფიდის გლობულებთან ერთად გვხვდება კვარცის მარღვის პარალელური მარღვაკები (სურ. 38 დ) და მადნეული მინერალების არშია (სურ. 69 გ).

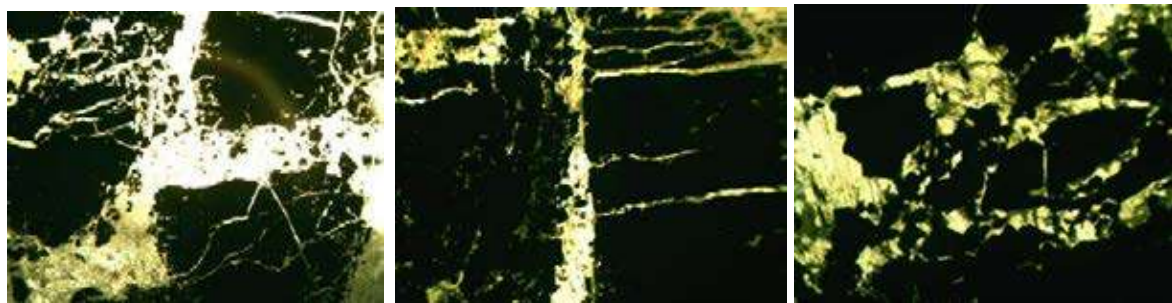
ნიმუში# Op672/22' – თეთრი ფერის ქანი, სულფიდთა ჩანართებით (სურ. 70 ა).



სურ. 70 ა) Op672/22'

ბ) X25 xpl

გ) X25ppl



სურ. 70 დ) X40 xpl

ე) X100 xpl

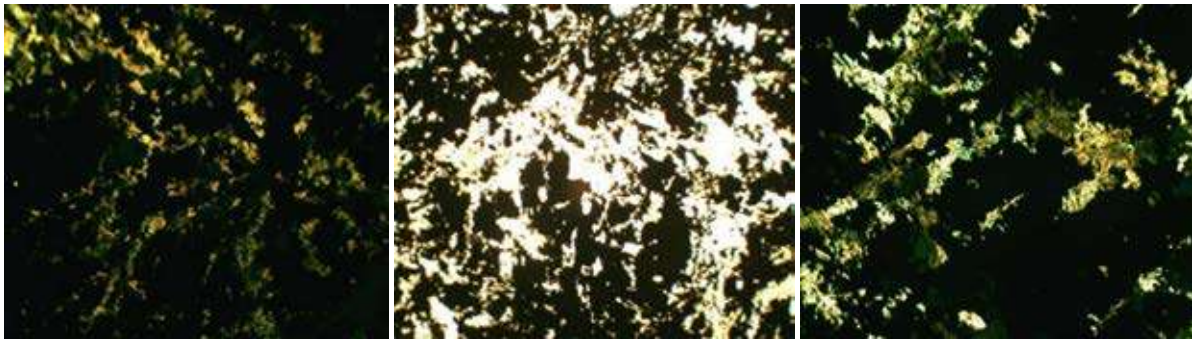
ვ) X100 xpl

მიკროფოტოებზე ჩანს, რომ იზოტროპულ (შავი) მასას, რომელიც მადნეული მინერალებითაა წარმოდგენილი შლიფის 80% უკავია და ბრექჩირებულია. მადნეული მინერალები მოქცეულია კვარცებსა (თეთრი) და კალციტებში (ვარდისფერი). განსხვავებით ნიმუში #Op18/2-სგან ქანი ინტენსიურად არის დაბრექჩირებული.

ნიმუში #Ts(m)-2022 - მასიური სულფიდური მადანი, რომელიც ცაგერის მხარეთმცოდნეობის მუზეუმშია დაცული. ნიმუში მოპოვებულია რცხმელურის მიდამოებიდან (სურ. 71 ა)



სურ. 71 ა) Ts (m)2022 ბ) X25 xpl გ) X25ppl



სურ. 71 დ) X40 xpl ე) X100 ppl ვ) X100 xpl

აღნიშნულ შლიფში ფართობის 5%-ს იკავებს პირიტი, რომელიც წარმოდგენილია არათანაბარი კოროდირებული გამონაყოფებით. პიროტინი განვითარებულია ქანში ყველგან, ზოგან ერთეული მარცვლების სახით. პიროტინის მარცვალთშორის სივრცეებში განვითარებულია სფალერიტის იზომორფული და გალენიტის არათანაბარი გამონაყოფები. გალენიტი და სფალერიტი თითქმის ერთი და იგივე რაოდენობით გვხვდება, ჯამში შლიფის ფართობის 30%.

ქანების პეტროგრაფიული ანალიზის შედეგები

მადანშემცველი ნიმუშების მინერალოგიური შესწავლით დადგინდა, რომ მადნის შედგენილობაში შედის პირიტი, პიროტინი, სფალერიტი, გალენიტი და ქალკოპირიტი. ძარღვული მინერალებიდან ძირითადად კვარცი და ასევე კალციტი. მეორადი მინერალებიდან რკინის ჰიდროქსანი, კვარცი უმეტესად გვხვდება წვრილი მარცვლების სახით. კარბონატები ქსენომორფულია სულფიდებთან შედარებით და იკავებს დარჩენილ სივრცეებს. მინერალთა სტრუქტურული ურთიერთდამოკიდებულების საფუძველზე განისაზღვრა შემდეგი თანმიმდევრობა: პირიტი, კვარცი, პიროტინი, სფალერიტი, გალენიტი, ქალკოპირიტი, კალციტი.

2.3 რადიოკარბონული (C14) ანალიზი

რადიოკარბონული ანალიზები გაერთიანებული სამეფოს, ოქსფორდის უნივერსიტეტის ხელოვნებისა და ისტორიის ლაბორატორიაში ჩატარდა. წიდეებიდან მოპოვებული ნახშირები დამუშავდა OxCal-ის რადიოკარბონული კალიბრაციის პროგრამის საშუალებით (სურ. 72) მიღებულია 5 ახალი თარიღი შემდეგი არქეომეტალურგიული ობიექტებისთვის:

საიტი: დოღურაში II - 42 40'40"N 42 47'34.20" E

(1) OxA-41668 RC-18-01, ნახშირი, წაბლი (Castanea) $d13C=-24.09$ 2839 \pm 16 BP.
თარიღი: 1050-926 BC (95,4%-იანი ალბათობით)

(2) OxA-41669 RC-18-2, ნახშირი, წაბლი (Castanea) $d13C=-25.82$ 2946 \pm 16 BP.
თარიღი: 1221-1109 BC (88,9% -იანი ალბათობით)

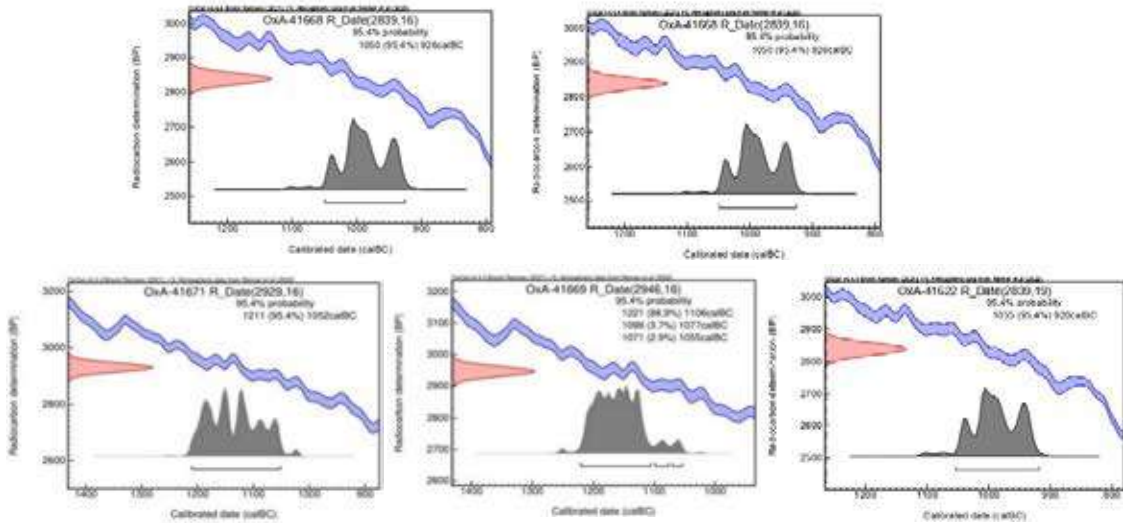
(3) OxA-41670 RC-18-3, ნახშირი, წაბლი (Castanea) $d13C=-25.38$ 2850 \pm 16 BP.
თარიღი: 1056-928 BC (91,4% ალბათობით)

საიტი: დოღურაში I, 42 40'40.90"N 42 47'5.50"E

(4) OxA-41671 RC-18-04, ნახშირი, წაბლი (Castanea)/მურყანი (Alnus) $d13C=-25.77$ 2929 \pm 16 BP
თარიღი: 1211-1052 cal BC (95,4% ალბათობით)

საიტი: გვერდისთავი I, 42 39'31.80"N 43 49'6.90"E

(5) OxA-41622 RC-18-05, ნახშირი, წაბლი (Castanea) $d13C=-26.45$ 2839 \pm 19 BP.
თარიღი: 1055 - 920 cal BC (95,4% ალბათობით).



სურ. 72. რადიოკარბონული დათარიღების გრაფიკები ნახშირის ნიმუშებიდან დოღურაში I, დოღურაში II და გვერდისთავის არქეომეტალურგიული ობიექტებიდან

საერთო ჯამში დოღურაში II-ისთვის მიღებული სამი თარიღი მოიცავს ძვ. წ. XIII-X საუკუნეების პერიოდს; დოღურაში I-ისთვის - ძვ. წ. XII-XI საუკუნეებს, ხოლო გვერდისთავი (ლუხვანო) - ძვ. წ. X-IX საუკუნეებს.

2.4 რენდგენოფლოურესცენტული სპექტრომეტრია (XRF)

აღ. ჯანელიძის სახელობის გეოლოგიური ინსტიტუტის ლაბორატორიაში ენერგოდიპერსიულ რენდგენოფლოურესცენტრულ სპექტრომეტრზე ჩატარდა 2014-2021 წლებში აღმოჩენილი არქეომეტალურული ობიექტებიდან წიდევისა და მინერალიზირებული ქანების 47 ნიმუშის ანალიზი. აქედან 20 მადანიანი ქანის, 25 წიდა (მასიური ასევე მსუბუქი) 1 არტეფაქტი და 1 ღარიბი ზოდი (pure ingot) (ცხრილი# 1 და # 2).

ცხრილი #1

Nº	Location	Type of sample and description	Symbol	Al %	Fe %	Ni %	Cu %	Zn %	As %	Mo %	Sn %	Sb %	Pb %
1	Okureshi 1	slag, dense	Ok639/21	3.92	20.24	0.04	0.35	0.18	0.01	0.01	tr	0.01	0.05
2	Okureshi 2	slag, dense	Ok14/20	3.44	22.17	0.03	0.62	0.04	0.02	0.01	tr	0.01	0.09
3	Okureshi 2	slag, dense	Ok641/21	3.54	20.46	0.03	0.36	0.09	0.01	0.02	tr	0.01	0.03
4	Chikelashi	slag, dense	Ch10'/20	4.40	15.80	0.03	0.89	0.59	0.01	0.03	tr	0.03	0.04
5	Chikelashi	slag, dense	Ch10/20	3.51	20.83	0.04	0.58	0.70	0.01	0.03	tr	0.04	0.02
6	Dogurashi 2	slag, massive	Dog3/20	3.34	22.50	0.01	0.49	1.75	0.01	0.01	tr	0.01	0.10
7	Dogurashi 2	slag, dense	Dog14/19	2.27	29.64	0.03	0.70	8.39	0.01	tr	tr	0.01	0.58
8	Dogurashi 2	slag, dense	Dog11/19	2.52	22.06	0.03	0.38	0.48	0.01	0.03	tr	0.01	0.03
9	Dogurashi 1	slag, malachite	Dog2/14	2.56	17.06	0.02	1.07	0.37	0.01	0.01	tr	0.02	0.06
10	Dogurashi 1	slag, dense	Dog6/19	1.71	20.31	0.03	0.40	0.37	tr	0.01	tr	tr	0.06
11	Dogurashi 1	slag	Dog2'/14	2.56	17.06	0.02	1.07	0.37	0.01	0.01	tr	0.02	0.06
12	Ladzgeria	slag, tap	Laz12/14	4.89	43.91	tr	tr	0.02	tr	tr	tr	tr	0.01
13	Letsperi 3	slag, tap	Let382/19	3.48	22.64	0.05	0.52	0.57	0.01	0.02	tr	0.02	0.02
14	Letsperi 3	slag, dense	Let382'/19	3.34	23.44	0.03	0.50	0.07	0.01	0.01	tr	0.01	0.02
15	Dogurashi 2	poor ingot	Dog1/19	4.65	14.86	0.03	0.13	0.81	0.01	tr	tr	0.01	0.07
16	Gabonalia	slag, dense	Ga1/14	6.59	17.15	0.01	1.00	0.91	0.01	tr	tr	tr	0.03
17	Shavbinula	slag, dense	Sh649/21	3.41	18.09	0.03	0.44	0.77	0.01	0.02	tr	0.03	0.01
18	Okureshi 1	slag, porous	Ok11'/20	5.08	31.91	0.03	0.64	0.05	0.04	0.01	tr	0.01	0.11
19	Okureshi 2	slag, porous	Ok16/20	4.37	20.94	0.03	0.66	0.50	0.02	0.01	tr	0.01	0.02
20	Chikelashi	slag, porous	Ch367/19	3.22	18.22	0.02	1.14	0.26	0.02	0.06	tr	0.05	0.04
21	Chikelashi	slag, porous	Ch6/19	3.49	16.00	0.05	1.31	1.51	0.01	0.01	tr	0.02	0.04
22	Lukhvano	slag, porous	Lu391/18	3.96	21.03	0.03	0.30	0.69	0.01	0.01	tr	0.01	0.05
23	Gabonalia	slag, porous	Ga362/19	3.14	21.74	0.03	0.36	0.38	0.01	tr	tr	tr	0.01
24	Letsperi 3	slag, light	Let382''/19	4.78	27.07	0.03	0.40	0.10	0.02	tr	tr	0.01	tr
25	Gvimbrala	slag, porous	Gv652/21	1.25	43.02	0.01	0.45	0.63	0.01	tr	tr	0.01	0.01
26	Dogurashi 2	slag, porous	Dog3'/20	2.75	24.45	0.02	4.10	0.33	0.04	0.01	tr	0.02	0.05
27	Opitara	artefact	Op 543/21	1.45	2.87	0.07	77.19	0.26	0.36	tr	tr	tr	0.18

წიდეზზე ჩატარებული ენერგოდიპერსიული რენტგენოფლოურესცენტული ანალიზის შედეგები

ცხრილი #2

№	Location	Type of sample and description	Symbol	Al %	Fe %	Ni %	Cu %	Zn %	As %	Mo %	Sn %	Sb %	Pb %
28	Opitra	mineralized rock	Op28/20	5.01	19.06	0.04	0.01	0.01	tr	tr	tr	tr	0.01
29	Opitra	mineralized rock	Op62/18	0.19	25.64	0.03	4.05	0.03	tr	tr	tr	tr	tr
30	Opitra	mineralized rock	Op63/18	0.47	25.82	0.04	4.45	0.02	0.01	tr	tr	tr	0.02
31	Opitra	mineralized rock	Op63'/18	0.34	24.11	0.02	2.53	0.02	tr	tr	tr	tr	0.01
32	Opitra	mineralized rock	Op18/20	1.38	26.35	0.02	0.63	0.02	0.27	0.01	tr	tr	0.03
33	Dogurashi-nargvevi	mineralized rock	Dog 45/18	1.95	6.51	0.03	0.10	tr	0.06	tr	tr	tr	0.01
34	Dogurashi-nargvevi	mineralized rock	Dog 45'/18	4.65	13.20	0.09	4.43	18.93	0.02	tr	tr	tr	10.46
35	Dogurashi-nargvevi	mineralized rock	Dog 45''/18	6.94	16.83	0.10	4.58	15.77	0.05	tr	tr	0.01	13.96
36	Dogurashi-nargvevi	mineralized rock	Dog 45'''/18	5.37	3.37	0.00	tr	0.17	tr	tr	tr	tr	0.08
37	Dogurashi	mineralized rock	Dog 61/18	7.57	0.73	0.01	tr	0.06	tr	tr	tr	tr	tr
38	Dogurashi	mineralized rock	Dog 30/17	3.73	44.44	0.05	0.17	0.03	0.02	tr	tr	tr	0.04
39	Dogurashi-nargvevi	mineralized rock	Dog 46/18	7.71	7.40	0.02	0.01	0.01	tr	tr	tr	tr	tr
40	Dogurashi-nargvevi	mineralized rock	Dog 21'/20	0.61	17.66	0.09	3.00	8.29	0.09	tr	0.01	0.03	23.92
41	Dogurashi-nargvevi	mineralized rock	Dog 20/20	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
42	Dogurashi	mineralized rock	Dog 61/18	7.57	0.73	0.01	tr	0.06	tr	tr	tr	tr	tr
43	Dogurashi	mineralized rock	Dog 60/18	6.85	14.09	0.03	0.03	tr	tr	tr	tr	tr	0.01
44	Rtskhmeluri	mineralized rock	Rts1/19	0.29	30.06	0.01	0.03	0.03	1.20	tr	tr	0.02	0.07
45	Gabonalia-zubi	mineralized rock	Gab3/14	10.70	4.26	0.00	tr	0.01	tr	tr	tr	tr	tr
46	Mokaulis gelem	mineralized rock	Mok 644/21	8.00	4.35	0.03	0.01	tr	tr	tr	tr	tr	tr
47	Mokaulis gelem	mineralized rock	Mok 643/21	3.19	5.31	0.01	0.01	0.01	0.05	tr	tr	0.01	0.01

მინერალიზირებულ ქანებზე ჩატარებული ენერგოდისპერსიული რენტგენოფლოუორესცენსული ანალიზის შედეგები

2.5 ატომურ-აბსორბციული ანალიზი (AAS)

შპს „კავკასიის სამთო ჯგუფის“ (CMG) ქიმიურ ლაბორატორიაში წიდებისა და მინერალიზირებულ ქანების 52 ნიმუშზე ჩატარებული ატომურ-აბსორბციული ანალიზით განისაზღვრა კეთილშობილ (ოქრო-Au, ვერცხლი-Ag), და ფერად ლითონთა (სპილენძის-Cu, ტყვიის- Pb, თუთიის-Zn, რკინის-Fe) შემცველობები.

მიღებული მონაცემები გვიჩვენებს, რომ ოქროს შემცველობა არცერთ სინჯში არ ფიქსირდება. პრეისტორიული წილებდან სინჯებში სპილენის (0.14-1.06%), თუთიისა (0.06 -1.13%), ტყვიის (0.02-11.8%,) და რკინის (130-174 კგ/ტონაზე) მაღალი შემცველობებია გამოვლენილი. მინერალიზებული ქანებიდან გამორჩეულად მდიდარია ნიმუშები ოფიტარადან, სადაც სპილენძის მაღალი შემცველობები (3,2-4.6 კგ/ტონაზე) ფიქსირდება. უშუალოდ მაღაროდან გამოტანილი გამორჩევა ვერცხლის (1,25კგ/ტ), ტყვიის (73კგ/ტ), და თუთიის (18,4კგ/ტ), ძალიან დიდი შემცველობებით. როგორც მოსალოდნელი იყო კორვაშიდან მოპოვებულ ოქსიდიზირებულ კონკრეციაში (Kor29/20) დაფიქსირებულია რკინის მაღალი - 294კგ/ტონაზე შემცველობა; ასევე ოფიტარაში აღმოჩენილ შუა საუკუნეების პერიოდის წიდაში (Op30/20) მაღალია მხოლოდ რკინის რაოდენობა -262კგ/ტონაზე (ცხრილი #3 და #4).

ცხრილი #3



Customer name: GNM
Date of sampling:
Date:

BOX-5204
Ltd. Caucasus Mining Group
28.09.2020
19.10.2020

Method of analysis	Au-AR	Au-AR	Ag-AR	Ag-AR	Cu-AR	Cu-AR	Pb-AR	Pb-AR	Zn-AR	Zn-AR	Fe-AR
Tool	AAS	AAS	AAS	AAS	AAS	AAS	AAS	AAS	AAS	AAS	AAS
Analytical element	Au	Au,Ch.	Ag	Ag,Ch.	Cu	Cu,Ch.	Pb	Pb,Ch.	Zn	Zn,Ch.	Fe
განსვრთული აღმორ.ზღვარი	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	%	%	%
Weight (gr.)	20	20	2	2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Reference QC	G915-7 4.94		GBM907-13 13.00		GBM907-13 1.69		GBM907-13 0.41		GBM907-13 6.63		GBM907-14
Target Range-	L.Bound	4,54			1,57		0,37		6,05		33,90
	U.Bound	5,34			1,81		0,45		7,21		
Reference QC	4,87		15,32		1,67		0,42		6,20		32,00
BLANK	0,01				0,01		0,01		0,01		
1 Ok-12/20 -slag (1)	0,14		7,52		0,90		0,04		0,50		17,46
2 Ok-11/20-slag (2)	0,15		3,40		0,43		0,04		0,10		13,80
3 Dog-6/20-slag (1)	0,12		3,35		0,44		0,05		0,39		16,66
4 Dog-3/20-slag (2)	0,14		7,08		0,89		0,14		0,75		14,44
5 Ch-10/20-slag	0,12	0,10	5,58	5,29	0,66	0,66	0,05	0,04	0,82	0,78	12,56
6 Op-18/20-ore from adit	0,01		2,75		0,46		0,01		0,01		4,58
7 Op-28/20-ore from adit	0,05		125,37		0,32		7,30		1,84		3,87
8 Kor-29/20-concretion	0,12		3,16		0,01		0,03		0,01		29,40
9 Dog-7/20-rock	0,02		1,75		0,01		0,01		0,01		2,95
10 Nar-21/20 ore	0,11	0,10	2,00	2,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	10,80
11 Op-30/20-medival slag	0,13		3,68		0,01		0,04		0,02		26,20
12 Sv-376/19-ore	0,02		1,64		0,01		0,01		0,01		2,11

საანალიზის მეთოდი		Ag-AR	Cu-AR	Pb-AR	Zn-AR	Fe-AR
ხელსაწყო		AAS	AAS	AAS	AAS	AAS
საანალიზო ელემენტი		Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
განსაზღ. ერთეული		ppm	%	%	%	%
ნიმუშის ნომერი/	ნიმუშის ტიპი					
D2-800/22	წიდა, კვერი	6.90	0.71	0.23	0.73	32.15
D2-801/22	წიდა, ნალვენტი	25.37	1.06	0.91	0.74	16.34
D2-802/22	წიდა, კვერი	13.19	0.19	11.80	0.83	23.65
D1-803/22	წიდა, ნალვენტი	4.63	0.55	0.33	0.57	7.68
D2-13/19	წიდა/კვერი	3.00	0.63	0.03	0.22	44.17
D2-4/20	წიდა, ნალვენტი	9.67	0.79	0.14	0.38	10.12
D2-3/20	წიდა/კვერი	4.12	0.56	0.10	0.38	26.35
D1-11/22	წიდა/კვერი	3.46	0.42	0.05	0.19	27.56
D1-5/20	წიდა/კვერი	5.05	0.40	0.16	1.13	19.28
D2-12/22	წიდა, ნალვენტი	9.00	0.68	0.26	0.32	9.24
D-672/22	ქანი	4.29	0.31	0.51	0.26	5.10
D-672/22'	ქანი	22.58	0.72	3.90	1.95	11.52
D-672/22''	ქანი	7.31	0.34	0.34	0.37	4.67
D-672/22'''	ქანი	13.63	1.03	1.05	2.32	7.68
D-20/20	ქანი	3.98	0.21	1.09	1.72	9.41
D-28/17	ქანი	3.72	0.81	2.02	2.05	4.82
D-804/22	ქანი	5.26	0.28	0.75	0.88	6.71
D-45'''/18	ქანი	39.37	0.81	2.80	5.49	14.96
D-39/18	ქანი	12.91	1.63	0.42	1.22	16.21
D-5/19	ქანი	7.13	0.43	1.04	2.08	8.26
D-669/22	ქანი	2.47	0.21	2.32	1.56	5.82
Ok1-639/21	წიდა/კვერი	3.54	0.27	0.84	0.11	34.13
Ok1-11/20	წიდა, ნალვენტი	4.17	0.53	0.07	0.13	14.34
Ok1-805/22	წიდა/კვერი	3.00	0.14	0.04	0.17	21.45
Ok1-806/22	წიდა, ნალვენტი	3.41	0.36	0.06	0.16	8.63
Ok1-639/21	წიდა/კვერი	2.63	0.31	0.05	0.11	53.17
Ok2-641/21	წიდა/კვერი	3.71	0.61	0.02	0.06	41.12
Ok2-518/20	წიდა/ნალვენტი	3.22	0.39	0.04	0.11	16.35
Ok2-12/20	წიდა/კვერი	3.31	0.44	0.03	0.27	25.52
Ok2-671/22	წიდა/კვერი	3.34	0.42	0.03	0.17	15.28
Ok2-14/20	წიდა/კვერი	4.38	0.67	0.02	0.26	19.24
Op-18/20	ქანი	4.75	1.85	0.92	0.79	5.96
Op-807/22	ქანი	4.65	0.57	1.16	0.81	7.39
Op-808/22	ქანი	3.96	1.72	0.61	0.83	6.00
Op-25/17	ქანი	5.92	1.61	2.42	1.17	4.12
Op-63/18	ქანი	11.64	2.42	3.13	1.11	15.44
Op-28/20	ქანი	10.88	3.44	4.05	2.34	8.23
Op-1/17	ქანი	2.12	0.92	1.51	5.61	5.89
Op-809/22	ქანი	4.37	2.19	2.35	0.86	7.41
Op-62'/18	ქანი	3.75	1.59	1.67	0.55	4.79

ცხრილი#4

მინერალიზებული ქანების რენტგენოფლუორესცენციული და ატომურ აბსორბციული ანალიზის შედეგები გვიჩვენებს, რომ პირველადი მადანი სპილენძ-თუთია ტყვია პიროტინულია (ცხრილი #1-#4). წილებზე ჩატარებული იგივე ანალიზის შედეგები კორელაციაშია მინერალიზებული ქანების შედეგებთან ადასტურებს, რომ კოლხი მეტალურგები იყენებდნენ ადგილობრივ მადანს.

2.6 პალინოლოგიური ანალიზი

პალინოლოგიური ანალიზისთვის ნიმუშები საქართველოს ეროვნული მუზეუმის პალინოლოგიურ ლაბორატორიაში სტანდარტული პროტოკოლის მიხედვით დამუშავდა (Moore et al. 1991). პირველ ეტაპზე მასალა - წილებსა და კერამიკის ნაპრალებიდან დაგროვილი სედიმენტი მოიხარშა კალიუმის ტუტის 10% ხსნარში ორგანული ნაშთების გამოსარეცხად. მიღებული ნახარშის ცენტრიფუგირების შემდეგ, მეორე ეტაპზე, მას დაემატა კადმიუმის მძიმე სითხე, რათა მოხდარიყო ორგანული ნაშთების გამოყოფა ცენტრიფუგირების საშუალებით. აღნიშნული პროცესის დროს მძიმე სითხემ მინერალური ნაწილი უფრო დაამძიმა და ჭურჭლის ძირში ჩაძირა, ხოლო ორგანული მასალა კი ზედაპირზე ამოტივტივდა. ბოლო ეტაპზე მიღებული ორგანული მასალა შეიღება აცეტოლიზის საშუალებით. პალინომორფების იდენტიფიკაცია, დათვლა და ფოტოგადაღება ახალი თაობის სინათლის მიკროსკოპის Olympus BX 43-ის, ხოლო, შედეგების სტატისტიკური ანალიზი და დიაგრამების აგება პროგრამა Tilia-ს საშუალებით მოხდა (Grimm 2011).

უნდა აღინიშნოს, რომ საანალიზე მასალა (წილები და ტექნიკური კერამიკის ფრაგმენტები) კვლევისთვის ვარგისი გამოდგა, რადგან იგი შეიცავდა მცენარეთა მტვრის მარცვლებს და სხვა სახის არაპალინოლოგიური ხასიათის პალინომორფებს - ხის მერქნის პარენქიმულ უჯრედებს, ფიტოლიტებს, სახამებელს, ქსოვილის ბოჭკოს, მწერების ბუსუსებს და კლანჭებს, სოკოს სპორებს და სხვა.

პალინოლოგიის გარდა გამოყენებული იქნა 2018-2019 გათხრებისას შეგროვილი უძველესი ლითონის სადნობი სახელოსნოებიდან რადიოკარბონული დათარიღებისთვის მომზადებული ნახშირის ნიმუშების მაკრობოტანიკური კვლევა, რომელიც ჩატარდა ოქსფორდის უნივერსიტეტის ლაბორატორიაში, მკვლევარ დანა ჩალლინორის მიერ. დათარიღებისთვის შესაფერისი მასალის შესარჩევად და სახეობების მრავალფეროვნების დასახასიათებლად, რათა დადგენილიყო თუ რა სახეობას მოიხმარდნენ გვიანბრინჯაოს ხანაში საწვავისთვის გამოკვლეული იქნა ნახშირის ათი ნიმუში. იდენტიფიკაციისას სტანდარტული პროცედურები იყო დაცული, ფრაგმენტები მოთავსდა ქვიშის აბაზანაში მაღალი გამადიდებლობის ქვეშ.

იდენტიფიკაცია ჩატარდა მხოლოდ გვარის დონეზე და არ ყოფილა მცდელობა სახეობების ანატომიურად განცალკევების შესახებ.

გვიან ბრინჯაოს ხანის ლითონის სადნობ ძეგლზე აღმოჩენილი არტეფაქტების პალინოლოგიური კვლევა პირველი მცდელობაა. მსგავსი კვლევა ჯერ საქართველოს არცერთ არქეომეტალურგიულ ძეგლზე არ ჩატარებულა. მიღებული შედეგები საშუალებას მოგვცემს დავადგინოთ გვიან ბრინჯაოს ხანის მთიანი კოლხეთის (ლექხუმი) პალეოლანდშაფტის, კლიმატური პირობების, ტაფონომიისა და ადამიანის საქმიანობის შესახებ მონაცემები.

არტეფაქტების პალინოლოგიური ანალიზის შედეგები

(1) **საიტი დოღურაში I** მდებარეობს ლექხუმის ქედის დასავლეთ კიდის სამხრეთ ფერდობზე, მდინარე ცხენისწყლის მარცხენა ნაპირზე, ზღვის დონიდან 880 მეტრ სიმაღლეზე (GPS - 42°40'41.09"N; 42°47'5.53"E). წიდის ნიმუშის #Dog5/20.

წიდის ორგანული ნაშთების პალინოლოგიურ სპექტრში ჭარბობს ხემცენარეთა მტვრის მარცვლებისა და ტყის გვიმრების რაოდენობა (სურ.73). ფართოფოთლოვან მცენარეთა შორის დომინანტია მურყანი (*Alnus*) და წაბლი (*Castanea*), ნაკლებად გვხვდება წიფლის (*Fagus*) მტვრის მარცვლები. წიწვოვნების ჯგუფში განისაზღვრა ფიჭვი (*Pinus*), სოჭი (*Abies nordmanniana*) და ნაძვი (*Picea orientalis*). სპექტრში ასევე აღმოჩნდა ისეთი სითბოსმოყვარული ფლორის ელემენტები, როგორცაა ძელქვა (*Zelkova*), ცაცხვი (*Tilia*), მუხა (*Quercus*) და თხილი (*Corylus*).

ბალახოვანთა ჯგუფში დომინირებს ტყის გვიმრის სპორები. გვიმრებს შორისაა ეწრის გვიმრა (*Pteridium aquilinum*), რომელიც, როგორც წესი, იზრდება ლანდშაფტის ღია ადგილებზე, სადაც ტყე გაჩეხილია (Page 1986; Seyanzobe *et al.*, 2020). ნაკლებადაა მრავალძარღვას (*Plantago*) მტვრის მარცვლები, რომლებიც იზრდება გზისა და ბილიკების პირას, ადამიანის საცხოვრებლთან ახლოს და სანაგვეებზე (Behre 1981).

არაპალინოლოგიური პალინომორფებს შორის ჭარბობს დამწვარი ხის მერქნის პარენქიმული უჯრედები (სურ.74). განისაზღვრა ფიჭვის (*Pinus*) ისეთი უჯრედები, რომლებიც ბოლომდე ვერ განახშირდა ან ფიჭვის ბუნებრივად დაშლის შედეგად წარმოიქმნა. ცოტაა თელას (*Ulmus*) მერქნის უჯრედებიც. ნაკლებადაა სოკოს სპორები, სახამებელი, სელის ქსოვილის ბოჭკო და მწერების მიკროსკოპიული ნაშთები. საინტერესო ფაქტია, რომ განხილულ სპექტრში ნაპოვნია მტკნარი წყლის წყალმცენარეთა ნაშთები (ზიგოსპორები) – სპიროგირა (*Spirogyra*) და პსევდომიზეა (*Pseudoschizaea*), რომელიც თხილი კლიმატის კარგი ინდიკატორია (Scott 1992; Medeanic, Silva 2010).

(2) საიტი დოღურაში II ლეჩხუმის ქედის დასავლეთ კიდის სამხრეთ ფერდობზე, მდინარე ცხენისწყლის მარცხენა ნაპირზე, ზღვის დონიდან 1084 მეტრ სიმაღლეზე, დოღურაში I-დან აღმოსავლეთით 5 კმ-ში მდებარეობს (GPS 42°40'39.40"N; 42°47'32.70"E). წიდის ნიმუში #Dog 4/20.

წიდის ორგანული ნაშთის პალინოლოგიური სპექტრი გამოირჩევა მცენარეთა მტვრის ტაქსონომიური და რაოდენობრივი სიმდიდრით. უხვადაა წაბლის (*Castanea sativa*) და მურყნის (*Alnus barbata*) მტვრის მარცვლები. აღნიშნა ასევე ცაცხვის (*Tilia*), რცხილას (*Carpinus betulus*), მუხის (*Quercus*), ტირიფისა (*Salix*) და თხილის (*Corylus*) მტვრის მარცვლები. დოღურაში II-ის ნიმუშში წიწვოვნების რაოდენობა ბევრად ნაკლებია, ვიდრე დოღურაში I-ში.

ბალახოვანთა ჯგუფში ჭარბობს ტყის გვიმრების სპორები (Polypodiaceae), მაგრამ ეწრის გვიმრის სპორების რაოდენობა გაცილებით უფრო მეტია, ვიდრე დოღურაში I-ზე. რაც ნიშნავს, რომ აღნიშნულ ადგილას ტყისგან თავისუფალი - ღია ლანდშაფტი (მდელოები) უფრო მეტი უნდა ყოფილიყო, ვიდრე დოღურაში I-ზე. განხილულ ნიმუშში მეტია ადამიანის ხანგრძლივი ცხოვრების ისეთი მაჩვენებლები/მარკერები, როგორცაა სათესი მარცვლოვნების მტვერი (Cerealia) და ხორბლის ნათესების სარეველები - ნაცარქათამა (*Chenopodium*), მატიტელა (*Polygonum*) და ბაია (*Ranunculus*). დაფიქსირდა ეზოს რუდერალური მცენარეების მტვრის მარცვლები - მრავალძარღვა (*Plantago*) და ავშანი (*Artemisia*). ეს ნიშნავს, რომ დოღურაში II ზე მეტალურგიული წარმოება უფრო ხანგრძლივად მიდიოდა, ვიდრე დოღურაში I-ზე. ამასვე ადასტურებს დოღურაში 2-ზე გათხრებისას სტრატეგრაფიულ ჭრილში დაფიქსირებული სადნობი სახელოსნოს რამდენიმე დონე (Sulava et al, 2020; Sulava et al, 2020 (a)).

არაპალინოლოგიურ ნაშთებს შორის დომინირებს ხის მერქნის დამწვარი პარენქიმული უჯრედები (სურ.74). დაფიქსირდა აგრეთვე ფიჭვის მერქნის დაშლილი უჯრედები. სპექტრში არის სახამებელი, მარცვლოვნების ფიტოლიტები, სოკოს სპორები. გვარამდე განისაზღვრა ნაკელის სოკოს ცერკოფორას (*Cercophora*) სპორები. მცირე რაოდენობითაა სელის ქსოვილის ბოჭკო და მწერების მიკროსკოპიული ნაშთები.

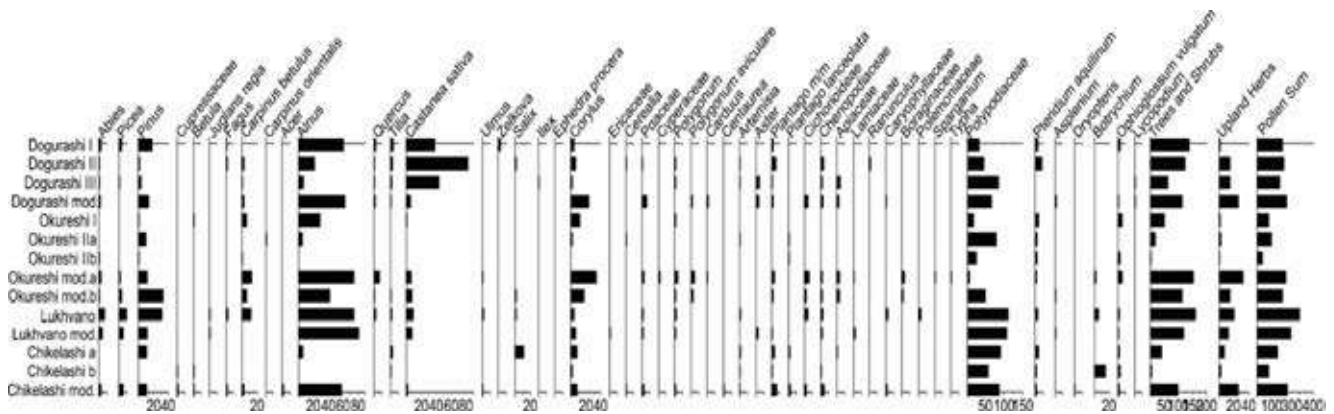
(3) საიტი დოღურაში III ლეჩხუმის ქედის დასავლეთ კიდის სამხრეთ ფერდობზე, მდინარე ცხენისწყლის მარცხენა ნაპირზე, ზღვის დონიდან 1000 მეტრ სიმაღლეზე მდებარეობს (GPS 42°40'33.3"N; 42°47'19.9"E). დოღურაში II-დან აღმოსავლეთის მიმართულებით 1 კმ-ში მდებარეობს. წიდის ნიმუში #Dog674/22.

დოღურაში III-ის წიდის ორგანული ნაშთის პალინოლოგიური სპექტრი მსგავსია დოღურაში 2-ის სპექტრის. აქაც ჭარბობს წაბლის (*Castanea sativa*) მტვრის რაოდენობა

(სურ. 73). ხემცენარეთაგან ნაპოვნია ფიჭვის (*Pinus*), სოჭის (*Abies*), ნაძვის (*Picea*), მურყნის (*Alnus*), რცხილას (*Carpinus betulus*), მუხის (*Quercus*), ბამგის (*Ilex*) მტვრის მარცვლები.

ბალახოვანთა ჯგუფში უხვადაა ტყის გვიმრების სპორები (სურ.1). გვხვდება აგრეთვე ქოლგოსნების (*Apiaceae*), ნაცარქათამასებრნის (*Chenopodiaceae*), ასტრასებრნის (*Asteraceae*) მტვერი. მცირე რაოდენობითაა ნაპოვნი სარეველების მტვრის მარცვლები - მრავალმარღვა (*Plantago*), ავშანი (*Artemisia*) და მათიტელა (*Polygonum*).

არაპალინოლოგიურ ნაშთებს შორის ჭარბობს სახამებელი, მათ შორის, ხორბლის (სურ.74). კარგადაა წარმოდგენილი მარცვლოვნების ფიტოლიტები. ბევრია აგრეთვე ხის მერქნის დამწვარი პარენქიმული უჯრედები, მწერების ნაშთები - ბუსუსები და კლანჭები. დაფიქსირდა სოკოს სპორები, მათ შორისაა, ობის სოკოს (*Mucoraceae*), ნაკელის სოკოს სორდარიასა (*Sordaria*) და ჰაეტომიუმის (*Chaetomium*) სპორებიც. განისაზღვრა სოკო უსტულინას (*Ustilina*) სპორებიც, რომლებიც იზრდება მხოლოდ მოჭრილი ხის მერქანზე. არც თუ ისე მცირეა მტკნარი წყლის წყალმცენარეთა ნაშთები - *Zygnemataceae*, *Dinoflagellata*, *Pseudoschizaea* (სურ.2). ცოტაა სელისა და ბამბის ქსოვილის ბოჭკო.



სურ. 73. ლეჩხუმის გვიანბრინჯაოს ხანის მეტალურგიული წარმოების ნარჩენებსა და თანამედროვე ნიადაგში აღმოჩენილი მცენარეთა მტვრის (პალინოლოგიური) რაოდენობრივი დიაგრამა.

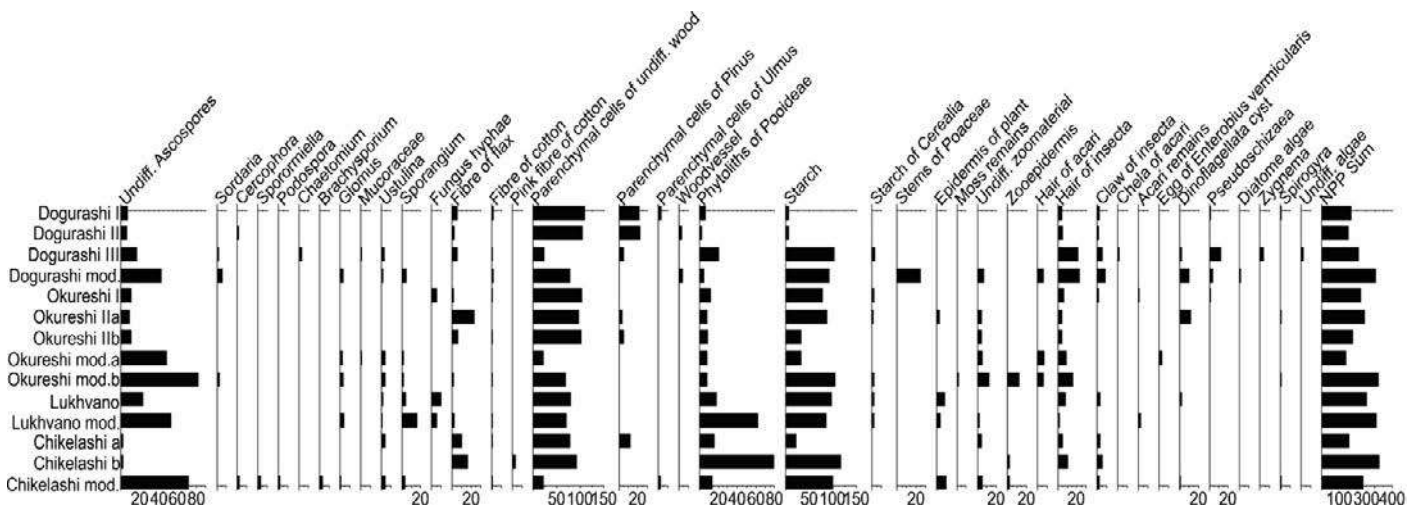
(4) საიტი ოყურეში I (დიდლოდები) მდინარე ცხენისწყლის მარცხენა ნაპირზე, ხვამლის კირქვული მასივის ჩრდილო-დასავლეთ კალთაზე, ზღვის დონიდან 1080 მ სიმაღლეზე მდებარეობს (GPS 42°31'33.76"N; 42°42'33.23"E). წიდის ნიმუშის # Ok7/20 და Ok670/22.

წიდების ორგანული ნაშთის პალინოლოგიური სპექტრი არ არის ისეთივე მდიდარი, როგორც დოღურაშის ნიმუშების. ხემცენარეთაგან განისაზღვრა სულ 6 ტაქსონი (სურ.73). დომინირებს მურყნისა (*Alnus*) და თხილის (*Corylus*) მტვერი. ბევრია რცხილა

(*Carpinus betulus*), ერთეულია წაბლის (*Castanea sativa*), ფიჭვისა (*Pinus*) და არყის (*Betula*) მტვრის მარცვლები.

ბალახოვნებიდან გვხვდება სხვადასხვა განუსაზღვრელი გვიმრების (Polypodiaceae) სპორებით, ასევე გვიმრა გველის ენის (*Ophioglossum vulgatum*), ეწრის გვიმრისა (*Pteridium aquilinum*) და სხვა გვიმრის სპორები. მცირე რაოდენობითაა მათიტელას (*Polygonum*) მტვრის მარცვლები.

არაპალინოლოგიურ პალინომორფებს შორის უხვადაა ხის მერქნის დამწვარი პარენქიმული უჯრედები. გვხვდება ფიჭვის დაშლილი უჯრედებიც (სურ.74). დიდია სახამებლის მარცვლების რაოდენობა, რომელთა შორის განისაზღვრა ხორბლის (*Triticum*) სახამებელი. აღმოჩენილია მარცვლოვნების ფიტოლიტები, სოკოს სპორები და მათი ჰიფები. ნაპოვნია მწერების ბუსუსები და სხვა ნაშთები. ნაკლებად გვხვდება ტვიპების მიკროსკოპული ნაშთებიც. ცოტაა სელისა და ბამბის ქსოვილის ბოჭკო და მტკნარი წყლის წყალმცენარე ფსეუდოშიზეას (*Pseudoschizaea*) ზიგოსპორები.



სურ. 42. ლეჩხუმის გვიანბრინჯაოს ხანის მეტალურგიული წარმოების ნარჩენებსა და თანამედროვე ნიადაგში აღმოჩენილი არაპალინოლოგიური ნაშთების (NPP) რაოდენობრივი დიაგრამა.

(5) საიტი ოყურეში II ა (სათიბები) მდინარე ცხენისწყლის მარცხენა ნაპირზე, ხვამლის კირქვული მასივის ჩრდილო-დასავლეთ კალთაზე, ზღვის დონიდან 1155 მ სიმაღლეზე მდებარეობს (GPS 42°31'27.14"N; 42°42'37.94"E). იგი ოყურეში I ლითონის სადნობი სახელოსნოდან სამხრეთ აღმოსავლეთით ≈2 კმ-ში მდებარეობს. ტექნიკური კერამიკის (ტიგელის) ნიმუშის # Ok671/22.

ტექნიკური კერამიკის ორგანული ნაშთების პალინოლოგიური სპექტრი, ისევე როგორც ოყურეში I წილის სპექტრი არ ხასიათდება პალინომორფების სიმდიდრით. განისაზღვრა მხოლოდ 9 მცენარის მტვრის მარცვალი. ხემცენარეთა შორის ჭარბობს

ფიჭვი (*Pinus*), მეორე დომინანტია მურყანი (*Alnus*). ცოტაა ჯაგრცხილასა (*Carpinus orientalis*) და თხილის (*Corylus*) მტვრის მარცვლები.

ბალახოვნებში ბევრია ტყის გვიმრების სპორები (სურ.73), რომელთა შორისაა ეწრის გვიმრაც (*Pteridium aquilinum*), რომელიც ტყის გაკაფვის შემდეგ მოშიშვლებულ ადგილებზე იზრდება (Page 1986; Senyanzobe *et al.*, 2020). მცირე რაოდენობითაა სათესი მარცვლოვნების (*Cerealia*) – მრავალძარღვასა (*Plantago*) და ავშნის (*Artemisia*) მტვრის ცალკეული მარცვლები.

არაპალინოლოგიური პალინომორფების ჯგუფში ჭარბობს სახამებელი, მათ შორის ხორბლის. მეორე დომინანტია ხის მერქნის დამწვარი პარენქიმული უჯრედები, ხოლო ფიჭვის დაშლილი უჯრედები კი ცოტა. საკმაოდ მრავლადაა სელის ქსოვილის ბოჭკო (სურ.74). ცოტაა მარცვლოვნების ფიტოლიტები, სოკოს სპორები და მცენარეთა ეპიდერმისი. ზოოლოგიური ნაშთებიდან გვხვდება ძირითადად მწერების ბუსუსები და მათი ეპიდერმისი.

(5) საიტი ოყურეში II ბ (სათიბები). წიდის ნიმუშის #Ok16/20, Ok 671/22. ნიმუშის პალინოლოგიური სპექტრი უაღრესად ღარიბი აღმოჩნდა. ხემცენარეთაგან ნაპოვნია ფიჭვის (*Pinus*), სოჭისა (*Abies nordmanniana*) და რცხილას (*Carpinus betulus*) ერთეული მტვრის მარცვლები.

ბალახოვნებში უხვადაა გვიმრების სპორები, რომელთა შორისაა გველის ენა (*Opioglossum vulgatum*) და ეწრის გვიმრა (*Pteridium aquilinum*). შედარებით ცოტაა მრავალძარღვას (*Plantago*) მტვერი.

არაპალინოლოგიური პალინომორფების ჯგუფში დომინირებს ხის მერქნის დამწვარი პარენქიმული უჯრედები. ცოტაა ფიჭვის დაშლილი ხის მერქნის უჯრედები. დიდი რაოდენობითაა სახამებელი. სოკოს სპორები, ფიტოლიტები და მწერების ნაშთები არც თუ ისე ცოტაა. აღინიშნება აგრეთვე სელისა და ბამბის ქსოვილის ბოჭკო (სურ. 75 ბ).

(6) საიტი ლუხვანო (გვერდისთავი) მდინარე ცხენისწყლის მარჯვენა ნაპირზე, ზღვის დონიდან 1370 მეტრ სიმაღლეზე მდებარეობს (309756 N; 4725374N). წიდის ნიმუშის # Gv676/22.

წიდის ორგანული ნაშთის პალინოლოგიური სპექტრი მდიდარი და საინტერესო აღმოჩნდა (სურ. 73, 74). განისაზღვრა 25 მცენარის მტვერი და სპორა. არაპალინოლოგიური პალინომორფის რაოდენობა 12-ს შეადგენს. დიდია აგრეთვე მტვრის მარცვლებისა და სპორების რაოდენობა. ხემცენარეთა შორის ჭარბობს მურყანი. ბევრია წიწვოვნების - ფიჭვის (*Pinus*), სოჭის (*Abies nordmanniaceae*) და ნაძვის (*Picea orientalis*) მტვრის მარცვლები. ფართოფოთლოვნებში კარგადაა წარმოდგენილი

რცხილასა (*Carpinus betulus*) და წაბლის (*Castanea sativa*) მტვრის რაოდენობა (სურ.41). მუხის (*Quercus*), წიფლის (*Fagus orientalis*), ცაცხვის (*Tilia*) მტვრის როლი პალინოლოგიურ სპექტრში ნაკლებია. გვხვდება კაკალის (*Juglans regia*), თელას (*Ulmus*), ტირიფის (*Salix*), თხილის (*Corylus*) ერთეული მტვრის მარცვლები.

ბალახოვანთა ჯგუფში დომინირებს გვიმრის სპორები. საკმაო რაოდენობით განისაზღვრა ეწრის გვიმრის (*Pteridium aquilinum*) სპორები. გვხვდება გვიმრა გველის ენას (*Ophioglossum vulgatum*) და გვიმრა მარგალიტას (*Bortyichium lunaria*) სპორები. ცოტაა ნაცარქათამას (*Chenopodiaceae*), მიხაკისნაირების (*Caryophyllaceae*), ავშნის (*Artemisia*), ვარდკაჭაჭასნაირების (*Chichorioideae*), ველური მარცვლოვნებისა (*Poaceae*) და პოლემონიუმისებრნის (*Polemoniaceae*) მტვერი.

არაპალინოლოგიური პალინომორფების ჯგუფში დომინირებს სახამებელი, სადაც ნაპოვნია ხორბლისა და სხვა სათესი მარცვლოვნების სახამებელი. მეორე დომინანტია ხის მერქნის დამწვარი პარენქიმული უჯრედები (სურ. 75 ბ). ბევრია ბალახოვნების ფიტოლიტები და მცენარეთა ეპიდერმისი. სპექტრში ნაკლები როლი აქვთ სოკოს სპორებს, მათ სპორანგიუმებსა და ჰიფებს. ცოტაა აგრეთვე მწერებისა და წყალმცენარეთა ნაშთები (სურ. 74).

(7) საიტი ჭიქელაში ჭიქელაშის ქედის სამხრეთ ფერდზე, მდ. ცხენისწყლის მარჯვენა ნაპირზე, ზღვის დონიდან 1445 მ სიმაღლეზე (42°39'29.53"N; 42°44'21.19"E) მდებარეობს. წილის ნიმუშის ##Ch9/20, Ch667/22.

წიდიდან ამოღებული ორგანული ნაშთის პალინოლოგიური სპექტრი არ არის მდიდარი. განისაზღვრა მცენარეთა მხოლოდ 12 ტაქსონი. ხემცენარეთა შორის აღმოჩენილია ფიჭვის (*Pinus*), მურყნის (*Alnus*), რცხილას (*Carpinus betulus*), ტირიფისა (*Salix*) და თხილის მტვრის მარცვლების მცირე რაოდენობა.

ბალახოვნებში ჭარბობს გვიმრების სპორები, რომელთა შორისაა, ეწრის გვიმრა (*Pteridium aquilinum*) და გვიმრა გველის ენა (*Ophioglossum vulgatum*). გარდა ამისა, მცირე რაოდენობით დაფიქსირდა მრავალძარღვას (*Plantago*), ავშნისა (*Artemisia*) და ქოლგოსნების (*Apiaceae*) მტვრის მარცვლები.

არაპალინოლოგიური პალინომორფების ჯგუფში ჭარბობს ხის მერქნის დამწვარი პარენქიმული უჯრედები. განისაზღვრა ფიჭვის უჯრედები. ასევე ბევრია სახამებელი და ფიტოლიტები. სპექტრში ბევრია სელის, ხოლო ცოტა ბამბის ქსოვილის ბოჭკო. მცირე რაოდენობით დაფიქსირდა მწერების ნაშთები და სოკოს სპორები.

(7) საიტი ჭიქელაში. ტექნიკური კერამიკის (ტიგელი) ნიმუშის #Ch671/22. ტექნიკური კერამიკიდან (ტიგელის) მოპოვებული ორგანული ნაშთების პალინოლოგიურ სპექტრში განისაზღვრა 11 მცენარის მტვერი და სპორა.

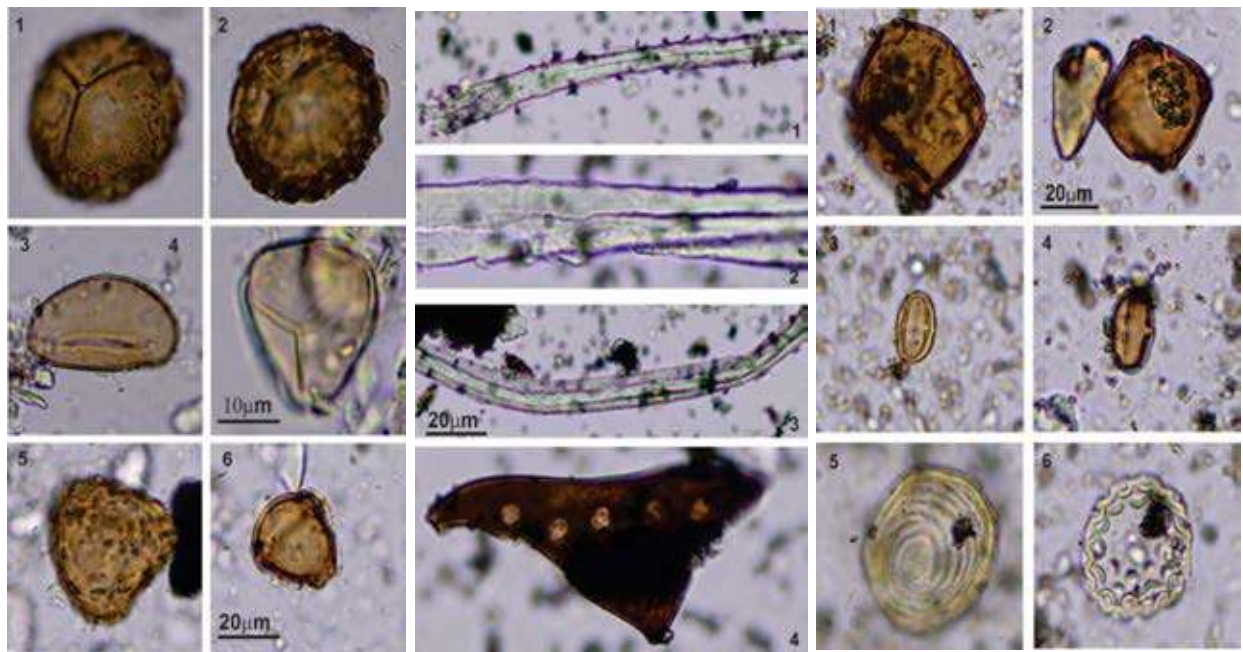
ხემცენარეთაგან აღინიშნა არყის (*Betula*), ცაცხვის (*Tilia*), კვიპაროსისნაირთა (*Cupressaceae*) და თხილის (*Corylus*) მტვრის მარცვლები.

ბალახოვნებში დომინირებს გვიმრების სპორები. განისაზღვრა გვიმრა მარგალიტა (*Botrychium lunaria*), გველის ენა (*Ophioglossum vulgatum*) და ეწრის გვიმრა (*Pteridium aquilinum*). ცოტაა მრავალძარღვას (*Plantago*), ავშნისა (*Artemisia*) და ნაცარქათამას (*Chenopodium*) მტვრის მარცვლები.

არაპალინოლოგიური ხასიათის ნაშთებს შორის ჭარბობს სახამებელი და ხის მერქნის დამწვარი უჯრედები. ბევრია მარცვლოვნების ფიტოლიტები. უხვადაა სელის ქსოვილის ბოჭკო და მწერების ნაშთები. ცოტაა ბამბის ქსოვილის ბოჭკო და სოკოს სპორები.

თანამედროვე ნიადაგის პალინოლოგიური ანალიზი

(1) დოღურაშის მიდამოების თანამედროვე ნიადაგის სინჯი აღებული იქნა დოღურაში III ლითონის სადნობი სახელოსნოს მიდამოებიდან. დღეს დოღურაშის მიდამოების ფოთლოვან ტყეში იზრდება რცხილა, მუხა, ცაცხვი, წიფელი, წაბლი, ნეკერჩხალი, მურყანი. ქვეტყეს წარმოადგენს მოცივი, თხილი, პანტა, ველური ვაშლი. ბევრია ტყის გვიმრა.



სურ 75. ა) დოღურაში-III; სითბომოტვარული ტაქსონთა მტვრის მარცვლები: 1-რცხილა (*Carpinus betulus*); 2- ბელქვა (*Zelkova carpiniifolia*); 3,4 – წაბლი (*Castanea sativa*); 5 - წყალმცენარე

Pseudoschizeae -ს ზიგოსპორები; 6- წყალმცენარე *Zygnemataceae*-ს ზიგოსპორები; ბ) ოყურეში IIბ; არაპალინოლოგიური პალინომორფები: 1-3- სელის ქსოვილის ბოჭკოები; 4- ფიჭვის (*Pinus*) პარენქიმული უჯრედები; გ) ჭიქელაში Ia; ტყის გვიმრებისა სპორები და მტვრის მარცვლები: 1,2 – *Ophioglossum vulgatum*; 3-ტყის გვიმრა-*Polypodiaceae*; 4-*Pteridium aquilinum*; 4- *Botrychium lunaria*; pollen of *Betula*.

დოღურაშის თანამედროვე ნიადაგის პალინოლოგიურ სპექტრში აისახა (სურ. 73,74), როგორც ლოკალური, ასევე რეგიონალური მცენარეულობა. სპექტრში ბევრია მურყნის (*Alnus*) მტვრის მარცვლები. კარგადაა წარმოდგენილი თხილის (*Corylus*), წაბლის (*Castanea sativa*), ცაცხვისა (*Tilia*) და რცხილას (*Carpinus betulus*) მტვრის შემადგენლობა. ბევრია ფიჭვის (*Pinus*), ხოლო ერთეული სოჭის (*Abies nordmanniana*) და ნაძვის (*Picea orientalis*) მტვრის მარცვლები, რომლებიც მთის ზედა კალთებიდან ქარის მიერაა ჩამოტანილი.

აღსანიშნავია, რომ წიდის პალინოლოგიურ სპექტრში არ დაფიქსირებულა დოღურაშის მიდამოების ტყეში დღეს არსებული წიფლის (*Fagus orientalis*), ნეკერჩხლის (*Acer*), მოცვის (*Vaccinium*), პანტასა (*Pyrus*) და ველური ვაშლის (*Malus*) მტვერი. ეს ფაქტი აიხსნება ამ მცენარეთა მტვრის დაბალი პროდუქციითა და ცუდი კონსერვაციული თვისებებით ან ბრინჯაოს ხანაში აღნიშნულ არეალში მათი არარსებობით (Klopotovskaia 1973; Kvavadze 1993; Filipova-Marinova at al. 2010).

ბალახოვნების ჯგუფიდან, თანამედროვე მცენარეულობაში ჭარბობს გვიმრების - გველის ენისა (*Ophioglossum vulgatum*) და გვიმრუჭას (*Asplenium*) სპორები. მცირე რაოდენობითაა წარმოდგენილი მარცვლოვნები (*Poaceae*), ნაცარქათამა (*Chenopodium*), მრავალძარღვა (*Plantago*), მიხაკისნაირები (*Caryophyllaceae*), ვარდკაჭაჭასებრნი (*Cichorioideae*), მატიტელა (*Polygonum*). ბალახოვნებში ბევრია აგრეთვე გველის ენისა (*Ophioglossum vulgatum*) და გვიმრუჭას (*Asplenium*) სპორები, რაც დღევანდელ რეალობას შეესაბამება.

დოღურაშის თანამედროვე ნიადაგის ნიმუშის არაპალინოლოგიური პალინომორფებს შორის დომინირებს სახამებელი და ხის მერქნის დაშლილი პარენქიმული უჯრედები. ბევრია სოკოს სპორები: ნაკელის სოკოს სორდარია (*Sordaria*), გლობუსი (*Glomus*), უსტულინა (*Ustilina*). უხვადაა მწერების მიკროსკოპიული ნაშთები. ცოტაა ფიტოლიტები, მარცვლოვნების ღეროების უჯრედები და მტკნარი წყლის წყალმცენარეები. ნაპოვნია მხოლოდ ბამბის ქსოვილის ორი ბოჭკო.

(2) ოყურეში I-ის თანამედროვე ნიადაგი. აქ გავრცელებულია ფართოთლოვანი ტყე რცხილას, წიფლისა და წაბლის მონაწილეობით. ბევრია მურყანი. ქვეტყეს წარმოადგენს იელი, თხილი, პანტა. კარგადაა განვითარებული ბალახოვანი საფარი, სადავ ბევრია გვიმრა.

თანამედროვე პალინოლოგიური სპექტრი საკმაოდ მდიდარია. ხემცენარეთა ჯგუფში უზვადაა სხვადასხვა სახეობის მურყნის (*Alnus*) მტვრის რაოდენობა (სურ.73), რომელთა შორის მრავლადაა ჩვეულებრივი მურყანი (*Alnus barbata*). იგი მთელ კოლხეთის დაბლობებსა და მთის ქვედა ნაწილის ხეობებში ვრცელდება. ნაკლები რაოდენობით გვხვდება ნაცარა მურყანი (*Alnus incana*), რომელიც მაღალმთაში იზრდება. ხემცენარეებიდან მეორე დომინანტია თხილი (*Corylus*). ასევე საკმაოდ ბევრია რცხილას (*Carpinus betulus*), ფიჭვისა (*Pinus*) და მუხის (*Quercus*) მტვრის მარცვლები. უფრო ნაკლებია წაბლის (*Castanea sativa*), წიფლის (*Fagus orientalis*), ცაცხვის (*Tilia*) მტვერი. კიდევ უფრო ნაკლებად ვხვდებით სოჭის (*Abies nordmanniana*), ნაძვის (*Picea orientalis*), თელას (*Ulmus*) მტვრის მარცვლებს.

ბალახოვანთა შორის ჭარბობს გვიმრების სპორები - გველის ენა (*Ophioglossum vulgatum*), ეწრის გვიმრა (*Pteridium aquilinum*), მარგალიტა (*Botrychium lunaria*) და ასევე სხვა. სპექტრში განისაზღვრა ვარდკაჭაჭასნაირები (Cichorioideae), ნაცარქათამა (*Chenopodium*), ველური მარცვლოვნები (Poaceae), ქოლგოსნები (Apiaceae), ჩვეულებრივი მათიტელა (*Polygonum aviculare*), ჭარხლისებრნი (Borraginaceae), მრავალძარვა (*Plantago*), ისლიანები (Cyperaceae). აღინიშნება წყლის მცენარე შხაპრი (*Sparganium*) და ლაქაში (*Typha*).

არაპალინოლოგიური პალინომორფების სპექტრში ჭარბობს სოკოს სპორები და მათი სპორანგიუმები. გვარამდე განისაზღვრა ობის სოკო (Mucoraceae), სოკო გლომუსი (*Glomus*) და უსტულინა (*Ustilina*). საკმაოდ ბევრია სახამებელი და ხის მერქნის დაშლილი პარენქიმული უჯრედები. მცირეა ფიტოლიტები, მწერებისა და ტკიპების ნაშთები. განხილული ნიადაგის სპექტრში აღმოჩენილია პარაზიტული მახვილა ჭიის ენტერობიოსის (*Enterobius vermicularis*) კვერცხები.

(3) ოყურეში II-ის თანამედროვე ნიადაგის სინჯი და მისი პალინოლოგიური სპექტრი ასევე მდიდარია (სურ. 73, 74). აქაც დომინირებს მურყნის (*Alnus*) მტვერი. ბევრია ფიჭვისა (*Pinus*) და თხილის (*Corylus*), რცხილას (*Carpinus betulus*), წაბლის (*Castanea sativa*) და ნაძვის (*Picea orientalis*) მტვრის მარცვლები. გვხვდება სოჭის (*Abies nordmanniana*), ცაცხვის (*Tilia*), მუხისა (*Quercus*) და ტირიფის (*Salix*) ერთეული მტვრის მარცვლები.

ბალახოვნების ჯგუფში ჭარბობს გვიმრის სპორები. ასევე განისაზღვრა გვიმრუქას (*Asplenium*) სპორები. მცირე რაოდენობითაა ქოლგოსნების (Apiaceae), ჭარხლისებრნის (Borraginaceae), ვარდკაჭაჭასნაირების (Cichorioideae), ნაცარქათამისებრნის (Chenopodiaceae), მათიტელას (*Polygonum*) და ჩვეულებრივი მათიტელას (*Polygonum aviculare*) მტვრის მარცვლები.

არაპალინოლოგიური პალინომორფების სპექტრში უხვადაა სახამებელი და სოკოს სპორები (სურ.2). მათ შორის ხორბლის სახამებელი. ასკოსპორების ჯგუფში განისაზღვრა სოკო გლომუსის (*Glomus*), უსტულინასა (*Ustilina*) და ნაკელის სოკოს - სორდარიას (*Sordaria*) სპორები. აღინიშნება დაუშლელი სპორანგიუმებიც. ბევრია ხის მერქნის პარენქიმული უჯრედები. აღინიშნება ბალახოვნების ფიტოლიტები. კარგადაა წარმოდგენილი მწერების ბუსუსები და მათი ეპიდერმისი. ცოტაა ტკიპების ბუსუსები. სპექტრში მცირე რაოდენობითაა მტკნარი წყლის წყალმცენარე სპიროგირა (*Spirogyra*), ხავსის ნაშთები, ბამბის ქსოვილის ცალკეული ბოჭკო (სურ. 74).

(4) ლუხვანოს (გვერდისთავი) თანამედროვე ნიადაგის პალინოლოგიულმა კვლევამ აჩვენა, რომ აქ გავრცელებულია ოყურემის მსგავსი მცენარეულობა. ტყეში გვხვდება მურყნის, წიფელის, მუხის, წაბლის, ნეკერჩხლის და ცაცხვის ხეები. ლუხვანოს წიდეების პალინოლოგიური სპექტრისგან განსხვავებით, თანამედროვე ნიადაგის ნიმუშში (სურ. 73, 74) ნაკლებია ხემცენარეთა მტვრის რაოდენობა. საერთოდ არ გვხვდება მუხის (*Quercus*), თელას (*Ulmus*), ცაცხვის (*Tilia*), ტირიფის (*Salix*), წიფლისა (*Fagus orientalis*) და რცხილას (*Carpinus betulus*) მტვრის მარცვლები. სპექტრში ასევე ნაკლებია წიწვოვნების მტვრის შემადგენლობა. ბალახოვნებში, ისევე როგორც ყველა თანამედროვე ნიადაგი, უხვად შეიცავს გვიმრების სპორებს; განისაზღვრა გვიმრა გველის ენა (*Ophioglossum vulgatum*) და გვიმრუჭა (*Asplenium*). მცირე რაოდენობითაა ნაცარქათამა (*Chenopodiaceae*), ტუჩოსნები (*Lamiaceae*), ველური მარცვლოვნები (*Poaceae*), მატიტელა (*Polygonum*), ასტრა (*Aster*), მრავალძარღვა (*Plantago*).

არაპალინოლოგიური პალინომორფების ჯგუფში პირველი დომინანტი სახამებელია, მეორე - ხის მერქნის დამწვარი პარენქიმული უჯრედები. ბევრია მარცვლოვნების ფიტოლიტები და მწერების მიკროსკოპიული ნაშთები. კარგადაა წარმოდგენილი სოკოს სპორები, სადაც განისაზღვრა სოკო გლომუსი (*Glomus*) და უსტულინა (*Ustilina*). არის სოკოს ჰიფები. მცირე რაოდენობითაა მცენარეთა ეპიდერმისი, ტკიპების ბუსუსები და ბამბის ქსოვილის ბოჭკო.

(5) ჭიქელაშის თანამედროვე ნიადაგის სინჯი. ჭიქელაშის ძეგლის ირგვლივ, დღეს ტყეში გავრცელებულია როგორც წიწვოვნები, აგრეთვე ფოთლოვანი მცენარეები; ბევრია იელი (*Rhododendron*), ნეკერჩხალი (*Acer*), მუხა (*Quercus*), მურყანი (*Alnus*), წაბლი (*Castanea sativa*), მაყვალი (*Rubus fruticosus*), იშვიათად გვხვდება უთხოვარი (*Taxus baccata*).

აღებული თანამედროვე ნიადაგის პალინოლოგიურ სპექტრში დომინირებს მურყნის (*Alnus*) მტვრის რაოდენობა. საკმაოდ ბევრია წიწვოვნების მტვერი. ესენია სოჭი (*Abies nordmanniana*), ნაძვი (*Picea orientalis*), ფიჭვი (*Pinus*). ნაპოვნია აგრეთვე კვიპაროსისნაირთა (*Cupressaceae*), არყის (*Betula*), თელას (*Ulmus*), რცხილას (*Carpinus*

betulus), წაბლის (*Castanea sativa*), ნეკერჩხლისა (*Acer*) და თხილის (*Corylus*) მტვრის მარცვლები.

ბალახოვნების ჯგუფში ჭარბობს გვიმრების სპორების რაოდენობა. განისაზღვრა გვიმრა გველის ენას (*Ophioglossum vulgatum*), გვიმრუჭას (*Asplenium*), და ეწრის გვიმრას (*Pteridium aquilinum*) სპორები. სხვა ბალახოვნებიდან ნაპოვნია ნაცარქათამას (*Chenopodiaceae*), მრავალმარღვას (*Plantago*), ველური და კულტურული მარცვლოვნების, ღიღილოს (*Centaurea*), ვარდკაჭაჭასნაირების (*Cichorioideae*), ავშნის (*Artemisia*), მიხაკისნაირების (*Caryophyllaceae*), მატიტელას (*Polygonum*) მტვერი.

არაპალინოლოგიური ნაშთებს შორის პირველი დომინანტი სახამებელია, მეორე კი სოკოს სპორები და მათი ჰიფები. განისაზღვრა სოკო გლომუსი (*Glomus*), უსტულინა (*Ustilina*), ბრახისპორიუმი (*Brachysporium*). აღინიშნება ნაკელის სოკოს სპორებიც. ესენია: პოდოსპორა (*Podospora*), სპორორმიელა (*Sporormiella*) და ცერკოფორა (*Cercophora*). ბევრია ხის მერქნის დაშლილი პარენქიმული უჯრედები, მწერების ნაშთები და ფიტოლიტები. ცოტაა მცენარეთა ეპიდერმისი, ბამბის ქსოვილის ბოჭკო და მტკნარი წყლის წყალმცენარეთა ნაშთები.

თანამედროვე ნიადაგის პალინოლოგიური სპექტრი

მიღებული შედეგებიდან ჩანს, რომ თანამედროვე ნიადაგის პალინოლოგიური სპექტრი ასახავს ლეჩხუმის რეგიონში დღეს არსებული მთის თითქმის ყველა ვერტიკალური სარტყლის მცენარეულობა. შესწავლილი ადგილებიდან ყველაზე კარგად დოღურაშის თანამედროვე ნიადაგის სპექტრმა აჩვენა ვიწროლოკალური, კონკრეტულ ადგილზე არსებული მცენარეულობა. თუმცა სპექტრში სუსტად, მაგრამ, მაინც დაფიქსირდა მთის ზედა კალთებზე გავრცელებული ტყის ელემენტების, წიწვოვნების - სოჭისა (*Abies*) და ფიჭვის (*Pinus*) მტვრის მარცვლები (სურ.75 ბ).

სინჯებიდან, მხოლოდ ოყურეშის თანამედროვე ნიადაგში აღმოჩნდა ტირიფის (*Salix*), ისლიანების (*Cyperaceae*) და მარცვლოვნების (*Poaceae*) მტვერი. მათი მტვრის მარცვალი ზოგადად ძალიან ცუდად ინახება. ეს ფაქტი ნიადაგის ქიმიური შემდგენლობით, კერძოდ კი მაღალი მჟავიანობითაა გამოწვეული (Moore et al. 1991).

აღსანიშნავია, რომ ჭიქელაშის თანამედროვე ნიადაგის სპექტრში არ ასახულა იელისა (*Rhododendron luteum*) და მაყელის (*Rubus*) მტვერი, რომელიც იქ მრავლად იზრდება. იელი დასავლეთ საქართველოში ფართოდ გავრცელებული მცენარეა, მაგრამ მისი დაფიქსირება დასავლეთ საქართველოს ნიადაგების სუბფოსილურ სპექტრებში ძალიან იშვიათია (Kvavadze 1993, Kvavadze, Stuchlik 1990; 2002).

ოყურეში I-ისა და ჭიქელაშის საიტებზე ეწრის გვიმრის (*Pteridium aquilinum*) სპორების სიმრავლე გაკაფვის პროცესებზე მიუთითებს (Page 1986; Senyanzobe *et al.*, 2020), რაც დღესაც ნათლად ჩანს ამ ადგილებზე.

თანამედროვე ნიადაგის სპექტრში ყველა არქეომეტალურგიულ საიტზე აღმოჩნდა სოკო გლომუსი, რომელიც იზრდება მხოლოდ ფხვიერ ზედაპირზე და ეროზიული პროცესების ინდიკატორია (Chis Hunt *et al.*, 2007). გაანალიზებულ გვიანბრინჯაოს ხანის მასალაში არსად არ არის ნაპოვნი გლომუსი. რაც ნიშნავს, რომ განხილულ რეგიონში დღეს გვიანი ბრინჯაოს ხანასთან შედარებით მეტია ეროზიული პროცესები.

ჭიქელაშის, ოყურეშისა და დოღურაშის თანამედროვე ნიადაგის პალინოლოგიურ სპექტრებში აღმოჩენილი ნაკელის სოკოს სპორები სამოვრების არსებობას და მათ ინტენსიურ გამოყენებას ადასტურებს (van Geel and Artroot 2006). ჭიქელაშის სინჯებში ასევე განისაზღვრა სოკო პოდოსპორა, ცერკოფორა, სპორორმიელა და სორდარია (van Geel *et al.*, 2003; (სურ. 73)).

განხილული თანამედროვე პალინოლოგიური სპექტრების ანალიზი და სინთეზი აჩვენებს, რომ თანამედროვე ნიადაგებში კარგადაა არეკლილი ლეჩხუმის დღევანდელი მცენარეულობა, ადამიანის სამეურნეო მოღვაწეობა და ეროზიული პროცესები.

მნიშვნელოვანია ის ფაქტი, რომ თანამედროვე ნიადაგის პალინოლოგიური სპექტრები მკვეთრად განსხვავდება გვიანი ბრინჯაოს ხანის წილების ორგანული ნაშთების პალინოლოგიური სპრექტრებისგან. ამის მაგალითია თანამედროვე პალინოლოგიურ სპექტრში ძელქვას მტვრის (სურ.75, ბ) წყალმცენარე ფსეუდომიზიასა და სხვა მტკნარი წყლის წყალმცენარეების ნაშთების არ არსებობა. პალინოლოგიური დიაგრამაზე ჩანს, სხვა მნიშვნელოვანი განსხვავებები (სურ. 73, 74) რის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ნამარხი ნიმუშების დანაგვიანება არ მომხდარა თანამედროვე ნიადაგით.

გარემო პირობები და ადამიანის საქმიანობა გვიანბრინჯაოს ხანაში

გვიანი ბრინჯაოს ხანის წილების და ტექნიკური კერამიკის ორგანულმა ნაშთებმა მდიდარი პალინოლოგიური სპექტრი აჩვენა, რადგან მათში განისაზღვრა 21 ხემცენარისა და 28 ბალახოვნის მტვერი. დიდია აგრეთვე არაპალინოლოგიური პალინომორფების ჯგუფი. აღნიშნული მასალა საფუძველს იძლევა, როგორც პალეოეკოლოგიური რეკონსტრუქციების, ასევე გვიანი ბრინჯაოს ხანის ადამიანის საქმიანობის ხასიათის დადგენისთვის.

პალინოლოგიური ანალიზებით ჩანს, რომ დოღურაშის მიდამოებში გვიანი ბრინჯაოს ხანაში წაბლის ტყეები გაცილებით უფრო დიდ ფართობზე იყო გავრცელებული, ვიდრე დღესაა. სხვა ფართოფოთლოვან მცენარეებთან შედარებით უფრო მეტი იყო ცაცხვი, მუხა და რცხილა (სურ. 73). ჩრდილოეთ ფერდობებზე აღინიშნებოდა წიფელი, ტირიფი, ძაგვი. საინტერესოა ის ფაქტიც, რომ იმ დროს აქ ამ სიმაღლეზე იზრდებოდა ძელქვაც, რომლის მტვრის მარცვლებიც თანამედროვე ნიადაგის არც ერთ სპექტრში არ დაფიქსირებულა. წაბლი, ძელქვა, მუხა, ცაცხვი და რცხილა არის სითბომოყვარული ტაქსონები და ისინი მთელ ამიერკავკასიაში კლიმატური დათბობის კარგი მარკერებია (Kvavadze, Connor 2005; van der Knaap et al. 2010; Kvavadze and Bilashvili 2015). ფართოფოთლოვან ქვეტყეში იზრდება უამრავი ისეთი სითბომოყვარული გვიმრა, როგორცაა გველის ენა, გვიმრუჭა და სხვა ტყის გვიმრები. თბილი კლიმატის არსებობაზე ასევე მიუთითებს თერმოფილური წყალმცენარეების პსეუდომიზიას და სპიროგირას ნაშთები (Scott 1992; Kvavadze, Davadze 2014; Kvavadze et al. 2020), რომელთა რაოდენობა მაქსიმალურია დოღურაში III ნიმუშის პალინოლოგიურ სპექტრში. აღნიშნული წყალმცენარეები იზრდება დამდგარ/გაუმდინარე წყლებში (Medeanic, Silva 2010; Nabavi et al., 2013).

პალინოლოგიური კვლევით თითქმის ყველა ნიმუშში დაფიქსირდა დიდი რაოდენობით წაბლის (*Castanea sativa*), მურყნის (*Alnus*), რცხილისა (*Carpinus betulus*) და წიფლის (*Fagus*) მტვერი. მიღებული შედეგები ზუსტად დაემთხვა ოქსფორდის უნივერსიტეტში გაანალიზებულ წიდეებში აღმოჩენილ ნახშირის მაკრობოტანიკური ანალიზის შედეგებს (სურ. 73), რაც გვაძლევს საფუძველს ვივარაუდოთ, რომ გვიანი ბრინჯაოს ხანის ლითონის სადნობ სახელოსნოებზე საწვავად იყენებდნენ წაბლს, მურყანს, რცხილასა და წიფელს. ცნობილია, რომ რცხილის და წიფლის ხის როგორც შეშა, ასევე ნახშირი საუკეთესო საწვავია, რადგანაც მათ ხანგრძლივი და მაღალი წვის ტემპერატურა აქვთ. რაც შეეხება წაბლის (sweet chesnut) და მურყნის შეშა არ იძლევა მაღალკალორიულ საწვავს, მაგრამ მათი ნახშირი არის საუკეთესო ხარისხის საწვავი (Heiss, et al. 2008, Schibler 2011, Jakobitsch et al. 2022).

არაპალინოლოგიურ პალინომორფებს შორის ყველა ძეგლზე დიდი რაოდენობით დაფიქსირდა ფიჭვის პარენქიმური უჯრედები რომლებიც ფიჭვის ბუნებრივად დაშლის შედეგად წარმოიქმნება (სურ. 75 ბ). ეს ახსნება იმით, რომ ფიჭვის ხეს მისი თვისებების გამო (მსუბუქი, რბილი მერქანი, შედარებით სწორი ტანი და ტენგამძლე, რადგანაც გაჯერებულია ფისოვანი ნაერთებით) სადნობ სახელოსნოებზე იყენებდნენ მსუბუქი კონსტრუქციების, თავშესაფრების, წყლის მილებისა და სამეურნეო იარაღების დასამზადებლად (Khakhutaishvili, 1987; Jakobitsch et al., 2022; Richter et al., 2004).

საინტერესოა ის ფაქტიც, რომ მეტალურგიული საქმიანობისთვის ტყის გაკაფვას ადასტურებს თითქმის ყველა გაანალიზებულ ნიმუშში ეწრის გვიმრის (*Pteridium aquilinum*) სპორების არსებობა. ეწრის გვიმრა ღია ლანდშაფტზე, გაკაფული მდელოებსა და ასევე ნახანძრალ ადგილებზე იზრდება (Senyanzobe *et al.*, 2020). ბუნებრივია, რომ მადნის მოპოვებას (firesetting), ასევე მის დნობას დიდი რაოდენობის ხე-ტყე ჭირდებოდა. სხვადასხვა სამთო მეტალურგიულ საიტებზე ჩატარებული კვლევებისა და ექსპერიმენტების საფუძველზე მიახლოებით გამოანგარიშებულია რა რაოდენობის ხე-ტყე იყო საჭირო სხვადასხვა მეტალურგიული აქტივობებისთვის. მაგალითად რიო-ტინტოს (ესპანეთი) მაღაროსა და სადნობ სახელწოდებულ ადმოჩენილი წიდეებზე ჩატარებული სტატისტიკური ანალიზით დახლოებით დადგინდა, რომ 10 მილიონი წიდის მისაღებად 20 მილიონი ტონა ნახშირი უნდა გამოყენებინათ, რომლის მისაღებად 100 მლნ. ტონამდე ხე-ტყე იყო საჭირო (Paul T. Craddock, 2010. P. 193). ასევე მაგალითად ჩერნიხმა (Chernykh, 1998a) დაიანგარიშა, რომ სამხრეთ ურალში ერთ ჰექტარი ტყის სრულად/მთლიანად გაკაფვისას მიიღება 250–270 კუბური მეტრი ისეთი შეშა, რომლისგანაც ნახშირი მზადდება. ეს ნიშნავს, რომ ერთი ტონა სპილენძის მეტალის გამოსაღებად საჭიროა 1,5-2 ჰექტარი კარგი ხარისხის ტყის გაჩეხვა. ამრიგად გამოთვლილია, რომ ბრინჯაოს ხანაში 150 000 ტონა სპილენძის წარმოებისთვის/დამზადებისთვის 3 000 მდე კვადრატული კილომეტრი ტყე განადგურდა კარაგლის რეგიონში (Kearney and O'Brien, 2014. p. 275).

ლეჩხუმში ტყის გაჩეხვას ასევე ადასტურებს პალინოლოგიურ სპექტრში სოკო უსტულინას სპორები (სურ. 75 გ). როგორც უკვე აღინიშნა უსტულინა იზრდება მხოლოდ მოჭრილი ხის მერქანზე (van Geel 1998). ტყის ინტენსიური კაფვა ზემოქმედებას ახდენს ლანდშაფტზე (Freire *et al.*, 2012); იწვევს გაუტყეურებას, დენუდაციას და ფერდობებიდან ნიადაგის საფარის ეროზიას (Craddock, 2010. P. 193). ეროზიული პროცესებისას ხდება ნიადაგების ტრანსპორტირება რაც ნიშნავს, რომ უფრო მეტი ქანთა ბუნებრივი გამოსავალი ჩნდება ზედაპირზე და მინერალიზებული ძაღვების პოვნის შანსებიც იზრდება.

დოღურაშის ტერიტორიაზე ადამიანის სამეურნეო საქმიანობაზე მიუთითებს პალინოლოგიურ სპექტრში მარცვლოვნების და ხორბლის ნათესების სარეველა მცენარეთა მტვერი. ბევრია კულტურული მარცვლოვნების სახამებელი და მათი ფიტოლითები. კარგადაა წარმოდგენილი ადამიანის საცხოვრებელ ეზოების და გზის პირა სარეველების მტვერის მარცვლებიც. ამასვე ადასტურებს დოღურაში II სადნობი სახელოსნოზე სტრატეგრაფიულ ჭრილში დაფიქსირებული რამდენიმე კულტურული დონე (Sulava *et al.*, 2020; Sulava *et al.*, 2020 (a)).

ოყურეშის არქეომეტალურგიული ძეგლიდან მოპოვებული ორგანული ნაშთების პალინოლოგიურ სპექტრებში ვლინდება იგივე კანონზომიერებები, როგორც

დოლურამისა. კარგად ჩანს ინტენსიური იმდროინელი ტყის გაჩეხვა ეწრის გვირის სპორების არსებობით. პალინოლოგიური სპექტრებში ასახული მცენარეულობა აქაც ადასტურებს მიწათმოქმედებას. თბილი კლიმატის არსებობას ფართოფოთლოვნების გარდა ადასტურებს სითბომოყვარულ წყალმცენარე პსეუდომიზიას ზიგოსპორები. აღსანიშნავია, რომ თანამედროვე ნიადაგის სპექტრში აღნიშნული წყალმცენარე არ არის ნაპოვნი (სურ. 74).

ლუხვანოსა (გვერდისთავი) და ჭიქელაშის არქეომეტალურგიული საიტები, რომლებიც მთის ზედა კალთებზეა (1350-1450მ. ზღვის დონიდან) განლაგებული კარგად ასახავს გვიანი ბრინჯაოს ხანის მცენარეულობას. მათი წიდების პალინოლოგიურმა სპექტრებმა აჩვენა ტყის ზედა ზოლის ელემენტების - არყასა და ღვიას არსებობა (სურ. 73). როგორც ჩანს იმ დროს ამ მიდამოებში წიწვოვნებს გაცილებით უფრო დიდი ფართობი ეკავა, ვიდრე დღეს. სოჭისა და ნაძვის ტყის არსებობას ასევე ადასტურებს გვიმრა მარგალიტას სპორები, რომელიც მხოლოდ ამ წიწვოვნების ჭვემ იზრდება (Rivera *et al.*, 2012) (სურ. 75 გ).

ჭიქელაში, ისევე როგორც დოლურამის საიტებზე ადამიანის ხანგძლივად ცხოვრებისა და მოღვაწეობის კარგი მაჩვენებელია სპექტრში რუდერალურ მცენარეთა მტვრის არსებობა. ასევე ამის მაჩვენებელია სელის და სხვა ქსოვილის ბოჭკოების დიდი რაოდენობა, რაც სამოთოელების სამოსისა ან სხვა ქსოვილის ნამარხი ნაშთებს უნდა წარმოადგენდეს. ბევრია აგრეთვე სათესი მარცვლოვნების სახამებელი, რაც ფქვილისა და ბურღლეულის ნაშთი უნდა იყოს. ძველი მეტალურგები ტყისგან გამონთავისუფლებულ ტერიტორიას, სავარაუდოდ იყენებდნენ ფარმინგისტვის, რასაც თბილი კლიმატური პირობები უწყობდა ხელს (Jakobitsch *et al.* 2022).

ლუხვანოში, ისევე როგორც დოლურამისა და ოყურეში დაფიქსირდა დამდგარი, მტკნარი წყლის ჰაბიტატების ფსეუდომიზია (Pseudoschizaea), სპიროგირა (Spirogyra), დინოფლაგელატა (Dinoflagellata) სპორები. მათი არსებობა გვიანი ბრინჯაოს პერიოდის სედიმენტების პალინოლოგიურ რეკორდში ნიშნავს, რომ სადნობი სახელოსნოების სიახლოვეს ტბა, ჭაობი ან ხელოვნური წყლის რეზერვუარი არსებობდა (Chis Hunt *et al.*, 2007). სადნობ სახელოსნოზე მომუშავე ადამიანებს მეტალურგიული წარმოების სხვადასხვა ეტაპზე მუდმივად ჭირდებოდათ წყლის რესურსი: მადნის მოპოვებისას, თიხის მოსაზელად ქურების, ტიგელების და საბერველი მილებისთვის, მეურნეობისთვის და სხვა (Knapp *et al.*, 2001p, p. 206). დღეს ლეჩხუმში აღმოჩენილი ყველა არქეომეტალურგიული ობიექტის სიახლოვეს პატარა-პატარა მდინარეთა ხევები და სასმელი წყაროები გვხვდება. მაგრამ ტბა ან ჭაობი ახლომახლო არსად არის. ჩვენი აზრით, კოლხი სამთოელები სახელოსნოებთან მდებარე გამდინარე წყლებს, მიმართულებას აძლევდნენ და სპეციალურად მოწყობილ

რეზერვუარებში აკავებდნენ, რითიც აიხსნება ზემოთხსენებული წყალმცენარეების არსებობა საანალიზე მასალაში.

კოლხეთისა და ზოგადად დასავლეთ საქართველოს გვიანი ბრინჯაოს დროის მონაკვეთის ნალექები პალინოლოგიურად კარგადაა შესწავლილი გეოლოგიურ ჭრილებში. ამ პერიოდის ფენებს ახლავს რადიოკარბონული დათარიღებები (Kaffke *et al.*, 2000; Kvavadze, Connor 2005; Arabuli *et al.*, 2007; Kvavadze, Bilashvili 2015). ისევე, როგორც ამ ჭრილებში ლეჩხუმის მასალაშიც ნათლად ჩანს კლიმატური დათბობა. ამ დროს მთელ დასავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე ვრცელდება წაბლის ტყისა და სხვა სითბომოყვარული მცენარეთა ტაქსონების ფართობები. გაცილებით დიდი მნიშვნელობა ცენოზებში ძელქვას ჰქონდა (Kvavadze, Connor 2005). განხილული დათბობა მთელს ამიეკვაკასიაში ვლინდებოდა. მაგალითად, სამხრეთ საქართველოში, ჯავახეთის ზეგანზე, ზღვის დონიდან 1500-1900 მეტრ სიმაღლეზე არსებული გვიან ბრინჯაოს ხანით დათარიღებული არქეოლოგიური ძეგლების პალინოლოგიური კვლით დადასტურებულია მკვეთრი დათბობა. ამ პერიოდში იმდენად თბილი კლიმატური პირობები იყო, რომ მოსახლეობა აქ მევენახეობასაც კი მისდევდა, ხოლო მთები ფართოფოთლოვანი ტყით იყო დაფარული. დღეს აქ მხოლოდ მთის სტეპური ლანდშაფტია გავრცელებული (Kvavadze, Narimanishvili 2010; Kvavadze *et al.* 2010).

პალინოლოგიურმა კვლევებით ასევე დადგინდა, რომ ადამიანი მეტალურგიულ საქმიანობას ხანგრძლივად ეწეოდა და, ამავდროულად, მისდევდა მცირე სამეურნეო საქმიანობასაც – მიწათმოქმედებას და მეცხოველეობას, აგებდნენ მსუბუქი კონსტრუქციის ნაგებობებს, აწყობდნენ წყლის მიწოდების სისტემას რეზერვუარების ასავსებად.

2.7 ნახშირების მაკრობოტანიკური ანალიზი

გასანალიზებელ ნახშირის ნიმუშებს შორის იყო როგორც მერქნის გული (საუკეთესო ნაწილია დასათარიღებლად) ასევე მრგვალი ხის ფრაგმენტები, რომელთა ქერქიც და გულიც კარგად იყო შემონახული; აღწერილი ნახშირის ფრაგმენტებში სახეობრივი მრავალფეროვნება საკმაოდ დაბალია, რომელთა შორის დომინირებს წაბლი. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ ყველაზე ხშირად საწვავად წაბლი გამოიყენებოდა, რაც პოტენციურად ნიშნავს, რომ ეს ხე დომინანტი იყო ადგილობრივ ტყეში, თუმცა ის ასევე შეიძლება მიზანმიმართულად იყო შერჩეული (ან ორივე ერთად). დაფიქსირდა ასევე სხვა სახეობის ფრაგმენტები – რცხილა, მურყანი და წიფლის მხოლოდ ერთი ფრაგმენტი დოღურაში II-დან (ცხრილი #5). რცხილა იზრდება საშუალო და მაღალ სიმაღლეებზე და ჩრდილისამტანი მცენარეა (ხშირად გვხვდება ტყის განაპირა ზოლში), მისი შეშაც და ასვე ნახშირიც იძლევა უაღრესად კალორიულ საწვავს. ხოლო მურყანი იზრდება ტენიანი გარემოში, უმეტესად მდინარეების და ნაკადულების გასწვრივ. მურყანი და წაბლის ხე არ იძლევიან ასეთ მდგრად/შენარჩუნებად სითბოს,

მაგრამ მათი ნახშირი საუკეთესო საწვავია (Jakobitsch *et al.* 2022; Ludemann 2011; Heiss *et al.* 2008).

ცხრილი # 5 ნახშირის კვლევის შედეგები ლეჩხუმში

ნიმუშის N	საიტი	ნახშირის სავარაუდო რაოდენობა	კონტექსტი	განსაზღვრა	14 C ნიმუში
RC-18-01	დოღურაში I	2 ფრაგმ.	1002	Castanea (წაბლი) 2, Beech (წიფელი) 1	Fagusx 1
RC-18-02	დოღურაში I	2 ფრაგმ.	1002	წაბლი (hw, sw)	Castanea sw x 1
RC-18-03	დოღურაში I	1 ფრაგმ.	1003	Castanea sativa (წაბლი) 1	Castanea x 1
RC-18-04	დოღურაში II	2 ფრაგმ.	1020	cf. Castanea 3 Alnus (მურყანი) 1	Alnus x 1
RC-19-02	დოღურაში II	2 ფრაგმ.		Carpinus sp. (რცხილა) rw, Alnus sp. (მურყანი)	Castanea sativa (sweet chestnut) (hw, sw)
RC-19-03	დოღურაში II	2 ფრაგმ.		Castanea sativa (წაბლი) (hw, sw)	Castanea sw x 1
RC-19-04	დოღურაში II	1 ფრაგმ.		cf. Castanea sativa	Castanea x 1 indeterminate maturity
RC-19-05	დოღურაში II	2 ფრაგმ.		Castanea sativa (rw)	Castanea x 1 moderate ring curvature
RC-19-06	ჭიქელაში	3 ფრაგმ.		Castanea sativa (sw, hw, rw)	Castanea rw x 1 strong ring curvature

შედეგები:

ამრიგად, ლეჩხუმი-ქვემო სვანეთის გვანბრინჯაო-ადრერკინის ხანის ლითონის სადნობი სახელოსნოებისა და მის მიმდებარედ აღმოჩენილი მინერალიზებული ქანების მულტიდისციპლინური კვლევებით მივიღეთ შემდეგი ახალი მონაცემები მთიანი კოლხეთის უძველესი მეტალურგიის შესახებ:

- სადაზვერვო გეოლოგიური სამუშაოებით გამოვლინდა, რომ ლეჩხუმი-ქვემო სვანეთის ტერიტორიაზე აღმოჩენილი ლითონის სადნობი სახელოსნოები სივრცობრივად დაკავშირებულია ქვედა და შუა იურული ასაკის გაშლილი ზღვის

ვულკანოგენურ და ვულკანოგენურ-დანალექ ქანებთან და მათი გამკვეთი ინტრუზიული სხეულების კონტაქტთან. კონტაქტის ზოლში დადგინდა მსხვრევის ზონები, ჰიდროთერმული შეცვლები და მადნიანი მინერალიზაციის პროცესები. გამაღწევა სუსტია, არათანაბარი/სპორადული და უკავშირდება მაგმურ-ჰიდროთერმულ აქტივობას, რომლის დროსაც ხდება ბზარებსა და ნაპრალებში კვარცისა და მადნეული მინერალების შეჭრა. აქ არსებული მადნეული მინერალებია: ქალკოპირიტი (CuFeS_2), სფალერიტი ($(\text{Zn,Fe})\text{S}$), გალენიტი (PbS) და პირიტი (FeS_2). მადნები ხასიათდება ძარღვული, მასიური, ჩანაწინწყლური, ზოლიან-კოლოფორმული და ბრეჩიული ტექსტურებით.

- წილების ტიპოლოგიური კვლევის შედეგად განისაზღვრა სამი სახის წიდა - მასიური (კვერისებური ფორმის), ნაღვენთები და ფირფიტისებრი წიდეები, რომლებიც ლითონის დნობის სხვადასხვა ფაზას შეესაბამება; ჩვენ მიერ შესწავლილ ლითონის სადნობ სახელოსნოებზე მძლავრი ფენების სახით ასევე გვხვდება ე. წ. ქვიშა-ხვინჭკოვანი წიდა, რომელიც მასიური და ნაღვენთის ფორმის წილების დაშლის/გადამუშავების შედეგი უნდა იყოს.
- ტექნიკური კერამიკის ტიპოლოგიური კვლევით დადგინდა: 1. ორი სახის ჰაერის საბერველი მილი - თხელკედლიანი და სქელკედლიანი; მილები დამზადებულია წითელი მსხვილმარცვლოვანი თიხისგან; მათ შორის გვხვდება ორნამენტირებული („გველისებური“) ეგზემპლარები. 2. ორი სახის ტიგელი (სადნობი ჭურჭელი) - დიდი ზომის სქელკედლიანი, შიდა კედლებზე და პირზე წიდის სქელი ფენით და შედარებით მომცრო ზომის თხელკედლიანი ტიგელის ფრაგმენტები, ლითონის დნობის კვალის გარეშე; ორივე სახის ტიგელი დამზადებულია მსხვილმარცვლოვანი ნაცრისფერი ცეცხლგამძლე თიხისგან. ორი სახის საბერველი მილისა და ტიგელის არსებობა ლითონის დნობის ორ განსხვავებულ საფეხურს უნდა მიუთითებდეს.
- წილების პეტროგრაფიული კვლევის შედეგად გამოიკვეთა დნობის ორი ფაზა: 1. კრისტალური, რომელშიც ხშირია სპილენძის სულფიდების ან მეტალური სპილენძის ჩანართები და 2. მინისებრი ფაზა.
- წილების ტიპოლოგიური და პეტროგრაფიული კვლევის შედეგები ერთმანეთთან შესაბამისობაშია და გვიჩვენებს მათ დიფერენციაციას. კვლევის ამ ეტაპზე გამოიკვეთა ლითონის დნობის ორი ფაზა, რომლის დროსაც მიიღება: (1) მასიური, კვერის ფორმის წიდეები კრისტალური მიკროსტრუქტურით; (2) მსუბუქი, ფოროვანი - ნაღვენთი წიდეები მინისებრი მიკროსტრუქტურით. რაც შეეხება ფირფიტისებრ წიდეებს, მათი არსებობა მხოლოდ შედარებით-ტიპოლოგიური მეთოდით დგინდება.
- წილების შედგენილობაში არსებული ოლივინის (ფაიალიტის) კრისტალთა ფორმის ცვლილებების მიხედვით განისაზღვრა, რომ ლეჩხუმის გვიანბრინჯაოს ხანის დიდი ზომის კვერის ფორმის წიდეების გაგრილება გრძელდებოდა

საშუალოდ 24 საათის განმავლობაში, ხოლო ნალვენთი წილების გაგრილებას დაახლოებით 10-12 საათი დაჭირდებოდა.

- წილებში აღმოჩენილი კვარცის ჩანართები გაულღობელი მადანშემცველი ქანის ნარჩენები/რესტიტები უნდა იყოს, რომელიც დამახასიათებელია საკვლევ ტერიტორიაზე გამოვლენილი მადნებისთვის და არ არის საგანგებოდ შერეული დანამატი ფლუსის სახით მდნარის გასამკვრივებლად/გასამყიფებლად და სწრაფად გასაცივებლად.
- მინერალიზებული ქანების რენტგენოფლუორესცენტრული და ატომურ აბსორბციული ანალიზის შედეგები გვიჩვენებს, რომ პირველადი მადანი სპილენძ-თუთია ტყვია პიროტინულია. წილებზე ჩატარებული იგივე ანალიზის შედეგები და მათი კორელაცია მინერალიზებული ქანების შედეგებთან მადნისა და წილების ერთ გენეტიკურ წარმომავლობაზე მიუთითებს და ადასტურებს, რომ კოლხი მეტალურგები იყენებდნენ ადგილობრივ მადანს.
- წილებიდან ამოღებულ ნახშირებზე ჩატარებული რადიოკარბონული (14C) ანალიზების მიხედვით დოღურაში II ლითონის სადნობი სახელოსნო ძვ. წ. XIII-X საუკუნეებით, დოღურაში I - ძვ. წ. XII-XI საუკუნეებით, ხოლო გვერდისთავი - ძვ. წ. X-IX ს.ს.-ით თარიღდება.
- გვიანბრინჯაოს ხანის ძეგლებზე ჩატარებულმა პალინოლოგიურმა შესწავლამ, რომელიც კავკასიაში ამ ტიპის კვლევის პირველი მცდელობაა, დაადასტურა, რომ ლეჩხუმში ძვ. წ. XIII-IX სს-ში კლიმატური ოპტიმუმი იყო, რასაც მიუთითებს პალინოლოგიურ სპექტრებში მრავლად აღმოჩენილი სითბომოყვარული ხემცენარეები, გვიმრები და მტკნარი წყლის წყალმცენარეების ზიგოსპორები. გარემო პირობები - თბილი კლიმატი, ტყეებისა და მცენარეების სახეობები, სათანადო პირობებს ქმნიდა მეტალურგიული და პარალელურად ისეთი მცირე სამეურნეო საქმიანობისათვის, როგორცაა: მიწათმოქმედება, მეცხოველეობა, მსუბუქი კონსტრუქციის ნაგებობების მშენებლობა და წყლის მიწოდების სისტემის მოწყობა.
- წილებიდან მოპოვებული ნახშირების მაკრობოტანიკურმა ანალიზმა პალინოლოგიასთან ერთად, აჩვენა, რომ იმდროინდელი მეტალურგები საწვავად იყენებდნენ გარშემომდებარე ხე-ტყეს: წაბლს (*Castanea*), წიფელს (*Fagus*), რცხილას (*Carpinus*) და მურყანს (*Alnus*).
- უძველესი მადაროს კვალის დადგენა/გამოვლენა პრაქტიკულად შეუძლებელია რეგიონში არსებული ბუნებრივის პირობების (ხშირი მცენარეულობა და მძლავრი ნიადაგის საფარი) გამო. ვვარაუდობთ, რომ ადრეული მადანმოპოვებითი სამუშაოები უკავშირდებოდა ზედაპირულ თხრილებს და მათ დიდი მასშტაბი არ ქონდათ, რის საფუძველსაც გვაძლევს საკვლევ ტერიტორიაზე არსებული სპორადულად გავრცელებული მცირე სიმძლავრის მადნიანი ძარღვები, ლინზები და ბუდობები. თუ არ ჩავთვლით მდ. რთხმელებისღელის ვიწრო ხეობაში

არსებულ მრგვალ, ერთგვაროვანი გლუვი ზედაპირის მქონე მოკლე მადაროს, რომლის დათარიღება მასალის არ არსებობის გამო რთულია. ის აგებულია პრეისტორიული ხანის მადაროების მსგავსაა, საიდანაც მადნის ექსტრაქცია სავარაუდოდ ცეცხლისა და პრიმიტიული იარაღების საშუალებით ხორციელდებოდა.

შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდი

SHOTA RUSTAVELI NATIONAL SCIENCE FOUNDATION OF GEORGIA



THE ARCHAOMETALLURGY OF COPPER IN THE MOUNTAIN REGIONS OF COLCHIS (LECHKHUMI-KVEMO SVANETI), GEORGIA: FROM ORE TO METAL

**Rusudan Chagelishvili, Nino Sulava, Nana Rezesidze,
Brian Gilmour, Tamar Beridze, Nika Tatuashvili**

საქართველოს ეროვნული მუზეუმი

GEORGIA NATIONAL MUSEUM



Contents

Introduction	96
Aims	96
1 Fieldwork	98
1.1 Geological exploration	98
– Dogirashi ore occurrence	99
– Opitara-Okuresh ore occurrence.....	101
– The rivers Murisgele, Mokaulisgele and Dzugurisgele gorges	106
– The river Rioni gorge – Korvashi.....	110
– The results of exploration geological work	112
1.2 Archaeometallurgical reconnaissance	114
– Chikelashi.....	115
– Okureshi	121
– Shavbinula	125
– Gvimbrala	126
– Opitara	127
– Palinology	128
– Physical map with indication of metal smelting sites found in the Lechkhumi-Kvemo Svaneti region.....	131
2 Desktop studies	133
2.1 Typological investigation of slag and technical ceramics	133
2.2 Petrography analysis.....	140
– Slags petrography.....	140
– The results of slags petrography analysis.....	146
– The mineralized rocks petrography.....	149
– The rock petrography study results	156
2.3 Radiocarbon (C14) dating	157
2.4 X-ray fluorescence spectrometry (XRF)	158
2.5 Atomic absorption analysis (AAS)	159
2.6 Palynological analysis.....	162
– Results of artifacts palynological analysis	163
– Modern soil palynological analysis.....	172
– Macrobotanical analysis of charcoal	173
– Environmental conditions and human activity in Late Bronze Age	174
3. Results	177
References	179

Introduction

Over 200 deposits and surficial exposures of copper, arsenic, antimony and polymetallic deposits are known in Georgia according to geological data. Almost all descriptions of major ore deposits mention traces of earlier mining and processing. Particular regions include Abkhazia, Svaneti, Racha, Kakheti (Zemo Alazani) – all mining-metallurgical sites in the Great Caucasus mountains – and Bolnisi-Dmanisi and Adjara-Guria sites of the southern Lesser Caucasus range. Towards the north-west are the Abkhazia, Svaneti and Racha zones of copper mineralization, systems which run from the western part of the Caucasus range to the east as discontinuous, dispersed and smaller deposits not so suitable for modern exploitation.

Our study area the Georgian mountain region (Lechkhumi-Kvemo Svaneti) is central to the famous late Bronze Age metal culture of Colchis known for its metal artefacts (ingots, hoards anthropomorphic/zoomorphic figurines, weapons, other tools) (Caxapova, 1966). Some earlier mining traces have also been noted in the more open high mountain zone (at about 2500-3000m) further north (Upper Racha-Upper Svaneti) but little was known of the vegetation covered lower (at about 1000-2000m) slopes (Lechkhumi-Kvemo Svaneti) (Gobejishvili, 1962).

In 2013-2015 reconnaissance expeditions from the Georgian National Museum started to find previously unknown late Bronze Age copper smelting sites. These were all indicative of nearby prehistoric copper mining and processing. In 2016-2018 further investigations and initial geological reconnaissance was undertaken within the framework of Rustaveli Foundation project (#FR-16-217128). More than 20 probable late Bronze Age copper smelting sites were located, plotted and the Dogurashi group of sites partially excavated. Findings have included partially processed fragments of ore, ore roasting hearths, smelting furnace remnants, slag, crucible and other production debris. Radiocarbon dating at Dogurashi I has showed it to be operating between about the 13th and 9th centuries BC (Rezesidze, 2018).

Aims

The presented archaeometallurgical project aims identify, investigate and date recently discovered Late Bronze Age copper smelting industry in the mountain region of Lechkhumi-Kvemo Svaneti; establish links between ore extraction/mining and metal production; investigate mineralized rocks, metallurgical waste and artefacts using up-to-date analytical techniques; identify, establish and describe raw material sources for locally produced copper and ancient mines.

Analysis of available data on the geology and metallogeny of the region shows that all the archaeometallurgical sites that we have located in Kvemo (Lower) Svaneti and Lechkhumi are concentrated in the metallogenic belt (Tvalchrelidze et al., 1982) of the southern slope of the Greater Caucasus and include the Kvemo Svaneti and Racha-Lechkhumi ore fields (Natural Resources of Georgian SSR, 1958). All the existing ore deposits/occurrences occur in Lower and Middle Jurassic volcanic and volcano-sedimentary rocks and cross-cutting igneous hypabyssal bodies (Beridze, 1983). These are endogenic ore formations with copper-pyrrhotite-base mineralization (Ivanitski, 1954; Natural Resources of Georgian SSR, Vol. I 1958; Janelidze, 1965; Geology SSR, Vol. X, 1974).

Our study region is a part of the metallogenic belt of the southern slope of the Greater Caucasus and include Kvemo (lower) Svaneti and Racha-Lechkhumi ore fields (fig. 1).

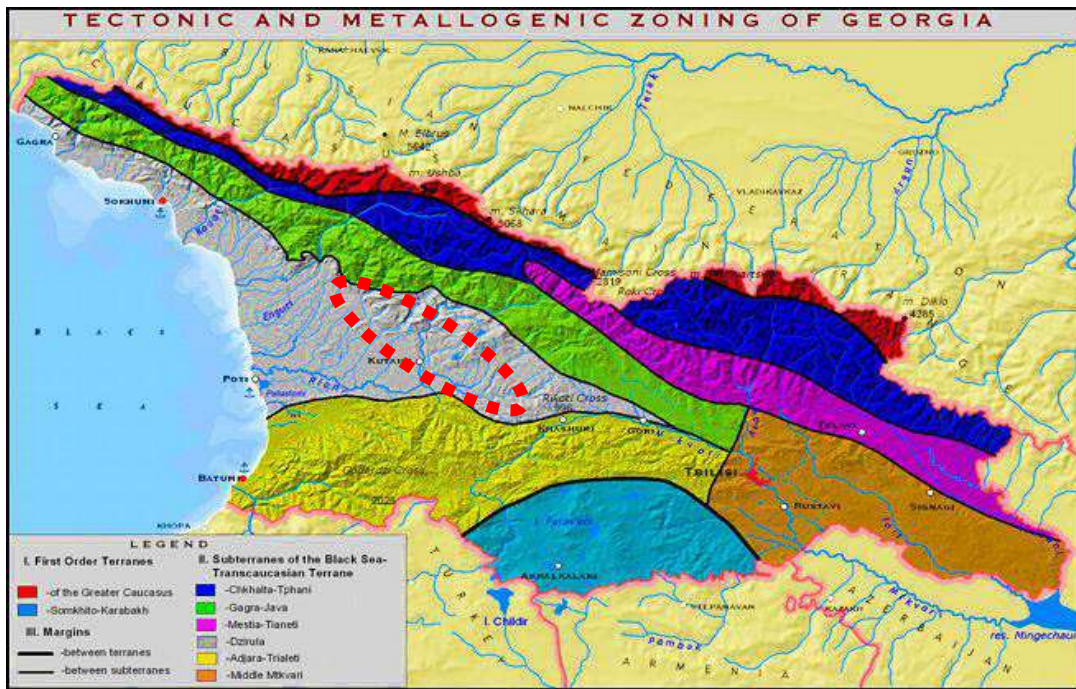


Fig. 1. The map of tectonic and metallogenic zoning of Georgia (modified from Gamkrelidze, I., et. Al., 1998)

Intensive geological exploration and mapping of the mineralized areas was undertaken here in the past (1907-1990). According to the obtained results given in the final reports of these investigations the small-scale deposits systems localized in the study area were less suitable and of non-commercial value for ore extraction from the modern point of view. However, 30 year later, a license was issued in 2021 for the metallogenic exploration of the Rtskhmeluri ore field to assess its industrial potential. The majority of the investigated within the project

framework ancient smelting sites are the part of the Rtskhmeluri ore field. Signs of early exploitation of ores in the Lechkhumi-Kvemo Svaneti area are mentioned in many geological reports, however, less is known about conducted on this purpose geoarchaeological investigations.

Investigations conducted within the project framework are based on field exploration and desktop-laboratory studies.

1. Fieldwork

1.1 Geological exploration

Geological studies included geological investigation of the rocks in the vicinities of the prehistoric smelting sites, identification of known mineralization and sampling of alteration zones for analyses; landscape surveying to identify possible prehistoric mines.

Geological field exploration was undertaken in the Kvemo Svaneti and Lechkhumi regions in 2020-2022 which included the surrounding areas of villages Dogurashi, Opitara (rivers Rtkhmelebisgele and Shavigele), Okureshi (places Didlodebi and Satibebi), Rtskhmeluri (place Shavbinula), Gvimbrala (place Zhibe Moli), Gveso (place Chikelashi), Dgnorisa (place Korvashi), Lukhvano (place Gverdistavi) and the canyons of the rivers Murisgele, Mokvaullisgele, and Dzugurisgele (fig. 2).



Figure. 2. Satellite image of works carried out within the project framework

Mentioned above places are located in the valley of the Tshenistskali river, on the southern slopes of the western edge of the Lechkhumi ridge, the southeastern edge of the Egrisi ridge and the northwestern slopes of the Khvamli limestone massif, at an altitude of 700-1500 meters above sea level. The terrain here is fairly complex and dissected, with many deep ravines, and steep slopes (<60-70°) covered by dense broad-leaved forest and undergrowth. Existing natural conditions are unfavorable/difficult for mining-reconnaissance activities – identification of ancient archaeometallurgical sites and mines.

Two strongly mineralized areas were established within the study area as a result of geological exploration. Both of them were more or less suitable for observation of mineralization processes and sampling of mineralized rocks for the laboratory studies. These areas are: (1) The Dogurashi river gorge in the northernmost part of Lechkhumi, and (2) in the southernmost part - ore occurrence in the vicinities of villages Opitara and Okureshi.

(1) Dogirashi ore occurrence

Dogurash base metal/polymetallic ore occurrence is located in the river Dogurashi gorge (the right tributary of river Tskhenistkali), in the northernmost part of Tsageri municipality, at an altitude of 700-1200 meters above sea level and 4-5 km west of the Rtskhmeluri ore field. Archaeometallurgical sites of the Dogurashi group (Dogurashi I, II and III) were found here. The radiocarbon age of these sites was established as XIII-IX centuries BC. The first record about the Dogurash base metals ore manifestations/occurrences are found in the report of G. Barkalaya (1940). In 1952-1961 the group of the Institute of Geology, leading by V. Gvakharia, investigated the Rtskhmeluri deposits group, which includes the Dogurash ore occurrence (Chhikkishvili 1951; Ivanitski., 1954; Chkheidze., 1958-59 and etc.). The latest information about the Dogurashi ore zone can be found in the Doctoral thesis of T. Janelidze (1965). The analysis of all these reports has revealed that the Dogurashi ore occurrence perspective is not clear and due to limited/small-scaled exposures of mineralized veins/lenses the Dogurashi ore occurrence is of no practical/commercial interest.

The vicinities of the Dogurashi ore occurrence are made up by the Upper Liassic sandy-shaly rock strata (dip dir. SW >70-80°) cross-cut by quartz-porphyry and diabase intrusions (dykes and sills). Diluvium and alluvium is widespread in the gorges of the Dogurashi river and its

tributaries, as well as on the slopes of the gorges which are covered by dense vegetation. The latter makes difficult observation of rocks natural exposures.

On the left bank of the river Dogurashisgele, the zone of hydrothermally altered rocks was detected along the contact of the quartz-porphyry diorite (old soviet term – diabase) body and Lower Jurassic sandstones. Here, in the gorge of the third left tributary of the river Dogurashisgele the soviet period adit for exploration of base-metal ore was driven in the mentioned zone. The adit driven through quartz-porphyry diorites ($42^{\circ}40'41.4''N$, $42^{\circ}46'58.7''E$ h=743 m) and sandstones interception zone (in the way-up section the adit intersects shales as well). At the adit entrance and in the surrounding area of about 20-30 meters, the rocks are strongly altered – silicified, oxidized and sheared (the latter is mainly observed on the peripheries) (fig. 3). In the zone of alteration ore veinlets, nests and small lenses which are arranged along the contact zone, become smaller and finally pinch out, were defined. Their thickness varies from 0,10 to 15 cm. Ore minerals in the veinlets are represented mainly by pyrrhotite and minor amount of chalcopyrite and galena inclusions.



Figure 3. Soviet period adit and its environs – sampling area of mineralized rocks, NE of village Dogurashi

The main non-metallic minerals in the veins are quartz, rarely calcite. In the contact zone with the dyke sandstones and shales are pyritized. It is well-observed that the mineralization in the study area (observation point # 677) is characterized by uneven distribution and is not intense. It corresponds to open-space filling by hydrothermal fluids type of mineralization.

In order to investigate mineralization at Dogurashi and their comparison with artefacts found at The Dogurashi group of archaeometallurgical sites mineralized rock samples were collected from the soviet period adit and its vicinities for various type of analyses (see chapter: Desktop studies; abbreviation of Dogurashi samples – Dog/D).

(2) Opitara-Okuresh ore occurrence

The village Opitara is located in the extreme south of Lechkhumi, about 4 km from the Kutaisi-Tsageri highway, on the left bank of Tshnistskali river. Like the Dogurashi area, the Opitara village area is built up by Middle Jurassic strata – so called “bajocian porphyritic rocks” which are conformably overlain by the Cretaceous carbonatic sediments.

Information about the presence of copper ore occurrences in the vicinity of Opitara village and the use of this raw material in bronze metallurgy is known since 1907 from the geologist G. Bartholomeev’s report. The Opitara ore occurrences were investigated by A.Chikvaidze (1910-1911); L. Koniushevsky (1919), A. Kalandadze (1931), G.Togonidze (1932-1933). G. Togonidze defined more or less prospective for base metals mineralization areas – Mlashe Perdi, Shavgele, Tetri Tskaro and Tetri Gele. It was established that all copper ore occurrences were commercially unpromising as nearly all of them were represented by low grade pyrite ores with rare chalcopyrite admixtures. In 1933 N. Bezhanishvili described three occurrences of copper ore in the Bajocian “porphyritic” suite in the Opitara village. In his opinion mineralization in all these three locations is mainly represented by pyrite, chalcopyrite, bornite and marcasite. Bezhanishvili assumes that these occurrences are not of economic importance.

Almost all the authors of the abovementioned reports note that the region is rich in slag heaps, which must have been the result of an ancient copper smelting process. The geologist P. Topuria paid the great interest to slags found in Opitara environs. In his work “Slags from Racha and Lechkhumi” (1938) he supposed that the copper smelting base existed in the Racha-Lechkhumi region, but copper ore mining was a small-scale individual local activity aimed only at meeting personal needs of the local population. Topuria admits that areas where slags

were found are mainly associated with the distribution zone of the Bajocian “porphyritic” suite. He recommends conducting more detailed exploration of this area.

The river Shavigele (village Opitara)

The river Shavigele originates on the western slope of the Khvamli massif. In the village of Opitara, it flows through Middle Jurassic (Bajocian) strata - porphyrites, tuffs, tuff breccias, tuffaceous sandstones, sandstones and shales. The river Shavigele gorge fairly narrow and densely vegetated, collapsed in some places and blocked by giant boulders. This makes the outcrops in the river gorge and on its banks nearly inaccessible for observations (fig. 4).



Figure. 4. The river Shavigele gorge, village Opitara

Despite of this problem, there was a chance to reach some places in the river gorge. The rocks in the contact zone of basalts and quartz diorite body ($42^{\circ}30'27.5''N$, $42^{\circ}38'39.1''E$, $h=475$ m) are strongly altered, shared, and brecciated. Following processes of rocks intense alteration were established: chlorite alteration (alteration of pyroxenes to chlorite induced by hydrothermal fluids), epidote alteration (plagioclase alteration to epidote), pelitic alteration (plagioclase altered to clay) which is more intense near the mineralized areas, pyrite and sericite alterations. In the shared zone the vein open spaces are filled by secondary minerals: sulfides-chalcopyrite, chalcocite, pyrite and iron hydroxides (fig. 5). Mineralized and host rocks samples were collected from all accessible outcrops for laboratory studies.



Figure. 5. Strongly altered, mineralized and brecciated rocks in the river Shavigele gorge

The river Rtkhmelebisgele (village Opitara)

In 2017 three mine workings were found at the entrance of the village Opitara, in the narrow gorge of the river Rtkhmelebisgele, near the waterfall located 100 meters from the ground road (306316 N; 4708054 E; h=394 m). The mines (adits) are driven through the Jurassic, brecciated, strongly mineralized and altered diabase. The rocks are mainly chloritized, rarely limonitized, cross-cut by network of calcite and quartz veins containing ore minerals – chalcopryrite, pyrite and galena inclusions (fig. 6).



Fig. 6 a) Altered and mineralized rocks; b) and c) Calcite and quartz veins with metals inclusions; Rtkhmelebisgele

During the conducted in 2020 fieldwork, after the investigation of three mining workings located close to each other in the Rtkhmelebegele river gorge (Fig. 7), it was established that one of the three mines, (# 1), which is located on the right bank of the river at a height of 0.7 meters from the riverbed, is a typical Soviet period adit - with a high, uneven entrance, internal angular ribs and ceiling, formed as a result of ANFO (ammonium nitrate and fuel oil) blasting (17x 1.5x1.8 m). Mine #1 is markedly different from Mines # 2 and # 3 located on the opposite side, on the left bank of the river, 2.5 meters above the riverbed, 4 meters apart. Their entrance (outer contour) is round, with smooth walls and a small height. Mine # (3x2.3x1.1m.) is filled almost to the ceiling with sediments (yellowish and light rust-colored coarse-grained mineralized sand) brought in by the river during the flood and collapsed from above, weathered/disintegrated rock mass. The entrance to the Mine # 3 (27x2X1.1-1.8 m) located next to Mine # 2 is similar – it is round, with a uniform smooth surface and a small height, which changes radically after 1.5 meters in depth. The shape of the mine ribs becomes angular

and increases in height. Therefore, it could be supposed that in the XX century the old mine was blasted for further exploration.



Fig. 7. Three mine workings in the river Rtkhmelebisgele gorge (Opitara)

The above-mentioned data suggest that Mines # 2 and # 3 are structurally similar to prehistoric mines, whose analogues exist (Fig. 8), and from which ore extraction was probably carried out using fire and primitive tools (Hauptmann 2007). Due to the strong mineralization and humid environment, the sediments filling the mine have turned into a homogeneous mass. Mentioned above conditions, made impossible to preserve the traces of ore extraction on the walls of the mine. In addition, as a result of the seasonal floods in the mountain river, these mines are periodically washed away, which reduces the possibility of observing prehistoric traces in these mines.

Sampling of all three mines was undertaken. Mineralized rock samples from the nearby outcrops were collected as well for petrochemical analyses (See chapter: Desktop studies; abbreviation of Opitara samples – Op.).

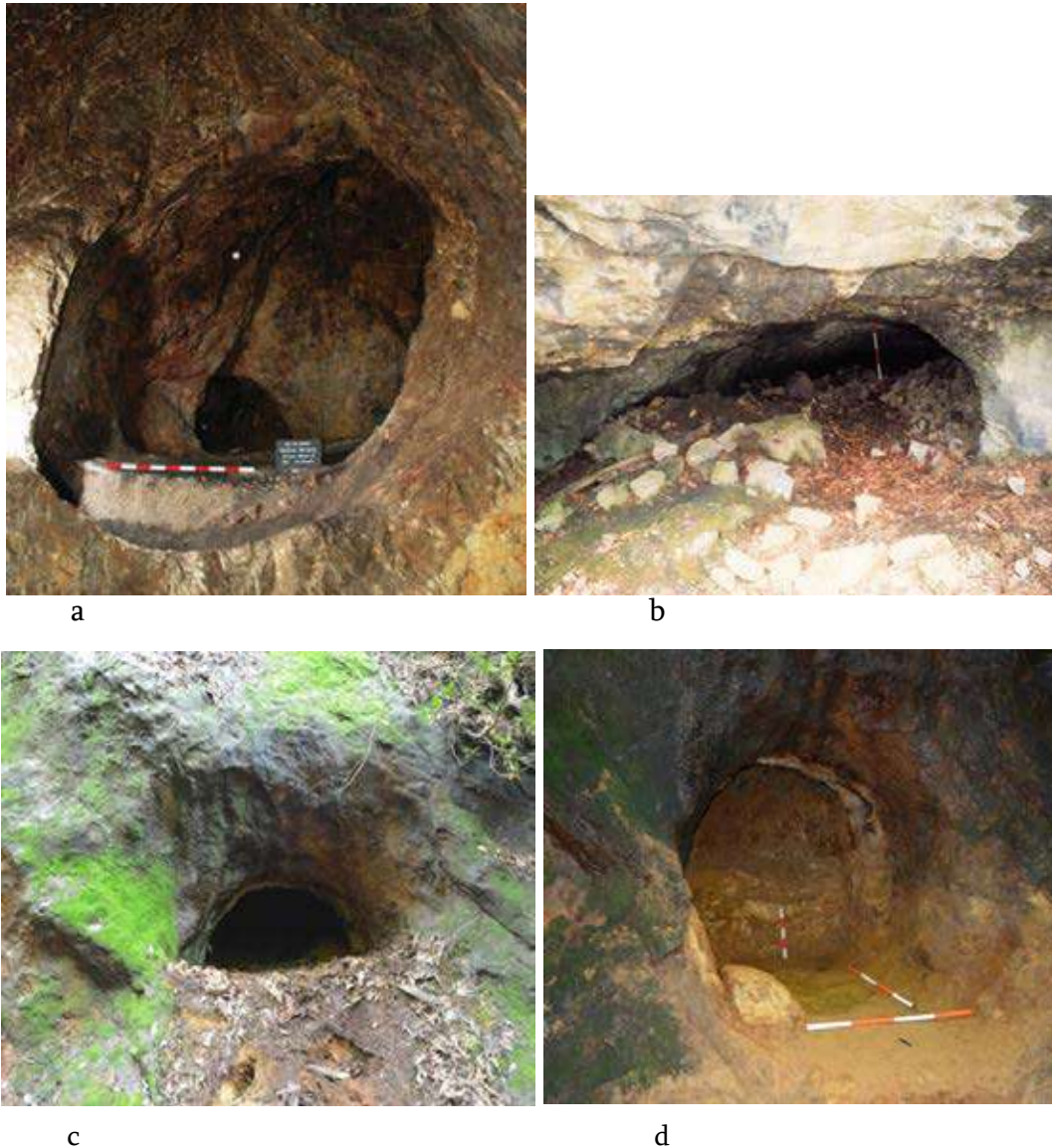


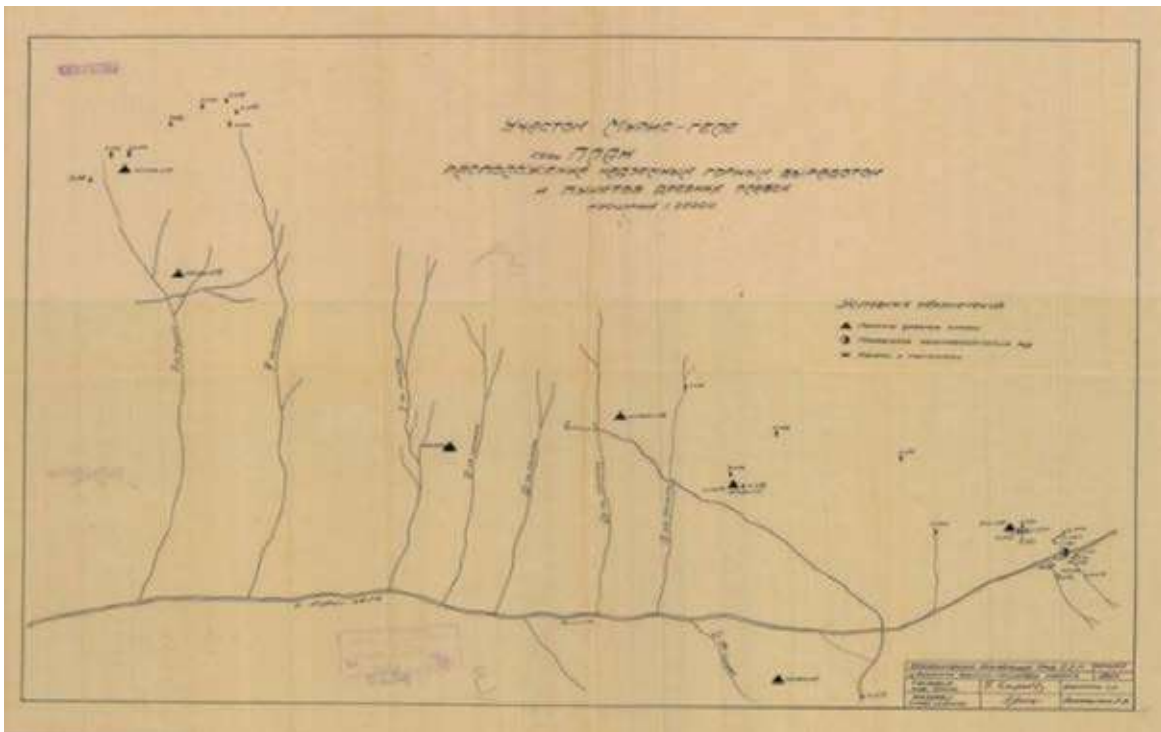
Fig. 8. Typical round cavities, which form as a result of using fire for ore extraction from the rock: a) Mauk E - Austria, VIII century BC; b) Bronze Age mine, Ross Island (Ireland); The river Rtkhmelebisgele mine working #2; c) before, and d) after cleaning

The rivers Murisgele, Mokaulisgele and Dzugurisgele gorges

In 2021 geological exploration work was carried out in the north of Tsageri municipality, in the rivers Murisghele, Mokaulisghele and Dzugurisghele environs. The mentioned rivers originate on the southern slopes of the western edge of the Lechkhumi range, at elevation of

1700-1500 meters above sea level. The Murisghele River is the left tributary of the Tskhnistskali River, whilst the Mokaulisghele and Dzugurisghele rivers are the right tributaries of the Lajanuri River. The rivers flow in a narrow deep valley, with characteristic steep falls and waterfalls in some places. The Lower Jurassic (Liassic) sandy-shaly rock series and Middle Jurassic augite-labradorite tuff-breccias and tuffaceous sandstones are spread here. The mentioned area is the eastern extension of the Dogurash archeometallurgical sites where our group conducted excavations and several mineralized zones were observed and sampled.

Special interest was drawn to the schematic maps/plans created by the geologist G. Barkalaia and attached to his report on conducted in 1941 geological exploration of polymetallic/base metals ores. The plans contain indications of prehistoric metal smelting sites and ore exploration test-pits (fig. 9 a, b). Conducted in the past geological exploration of this area revealed widespread small-scale copper-polymetallic ore occurrences, which are of non-commercial value.



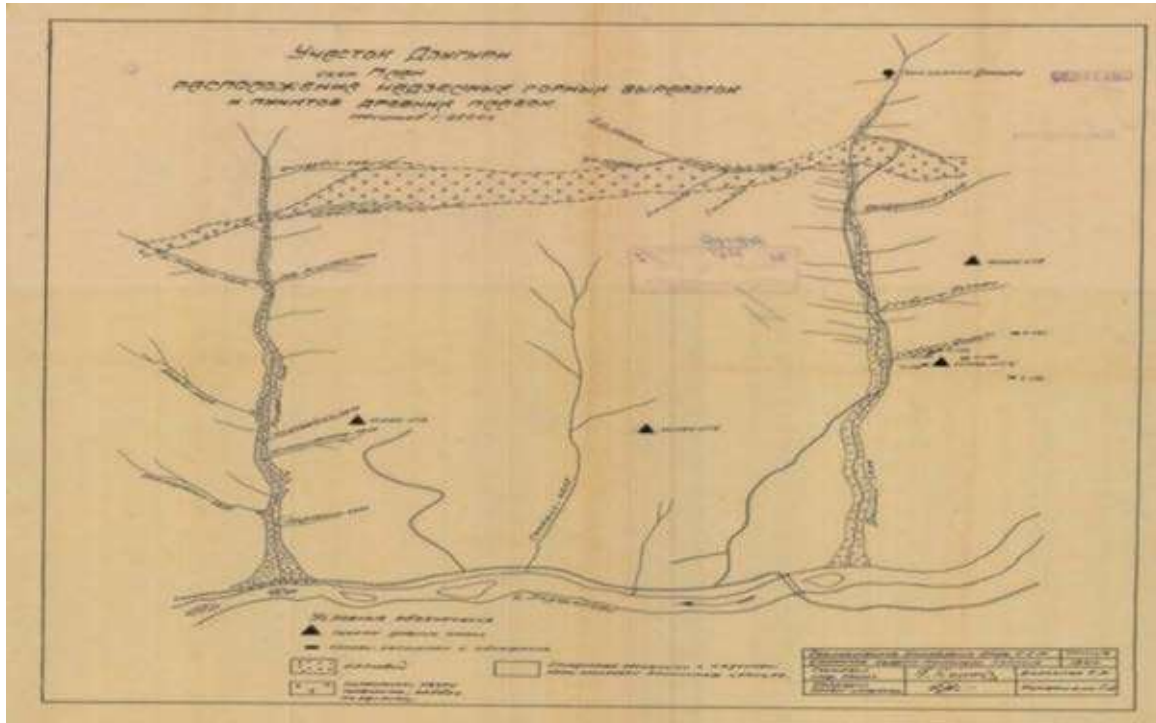


Fig. 9 a) Schematic map/plan of the r. Murisgele; b) Schematic map/plan of the rivers Mokvaulisgele and Dzugurisgele. Created by the engineer-geologist of the Tsageri Geological Exploraton party G. Barkalaia (1941). Ancient smelting sites – black triangles and polymetallic ore occurrences are shown on the map.

Following the route shown on the schematic map (fig. 9 a) exploration was conducted in the river Murisgele gorge – the river Parelitskali (the Murisgele river tributary) environs (place Kokhilashi) and in several unnamed small streams towards the headwaters of the river, where at the end of the last century there were summer pastures for cattle and also mowing fields. Although the chances to see more natural exposures of rocks are higher in such places, our efforts to find slags and mineralized rocks exposures failed, as even the areas of former pastures are currently covered by newly grown young forest and dense vegetation. Thick diluvium covers the river slopes as well (Fig. 10 a, b, c)



Fig. 10. a) The river Murisgele gorge, view from the Muri fortress; b) Headwaters of the r. Murisgele; c) Old mowing fields in the r. Murisgele headwaters currently covered by young forest

Due to current natural conditions, it was clear, that it would be difficult to find rocks natural exposures and prehistoric smelting sites. Therefore, it was decided to conduct sampling/sample collecting in the relatively open areas of all three river valleys, where river/alluvial sediments accumulate. The Murisghele River is at its widest at the base of Muri fortress, 500 meters from the confluence of the Tskhenistskali River, where only a few slightly mineralized samples were collected (Fig. 11).

Alluvium of the river Dzugurisgele was sampled as well. The confluence of the rivers Mokvaulisghele and Lajanuri was particularly fruitful (Fig. 12), where mineralized rocks (shales, siltstones and quartz veins) samples were collected, in which inclusions of ore minerals can be seen even with the naked eye.



Fig. 11. The river Murisgele alluvium, nearby the river Tskhenistskali confluence



Fig. 12 a) The river Mokvaulisgele gorge; b) Confluence of the rivers Mokvaulisgele and Lajanuri, where samples were collected (photo by V. Mamiashvili)

The river Rioni gorge – Korvashi (5)

A large number of concretions of different sizes and shapes (mostly oval shaped) with high specific gravity were collected in the valley of the Rioni river, on the southern slope of the

Racha ridge, north of the village Dghnorisa, on the way towards Korvashi (319010N; 4705082E; h=987 m) (fig. 13 a). Such concretions always attract the local population attention/interest. The opinion exists about their meteoritic origin as after being for a long time on the ground their surfaces glitter, making an impression of molten crust of meteorite (fig. 13 b).

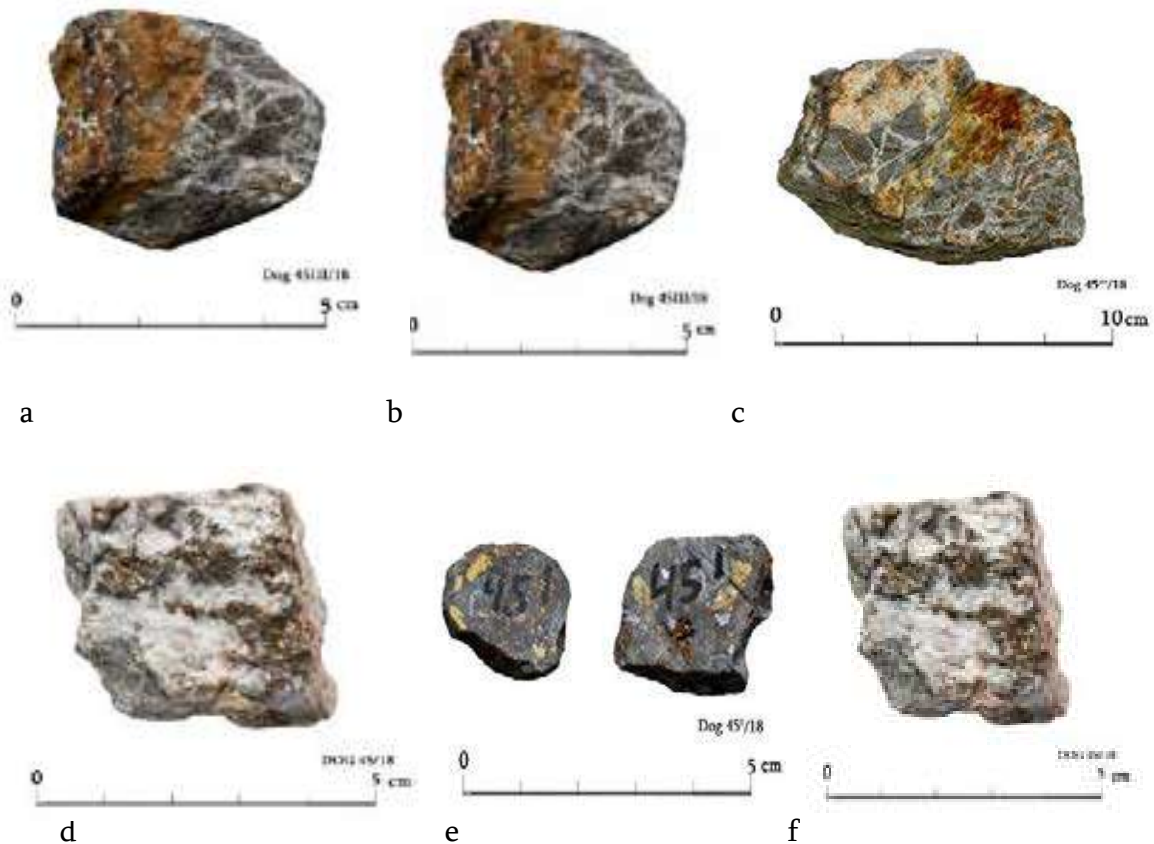


Fig. 13 a) Road toward Korvashi where oxidized concretions/nodules are widespread (orange circles indicate concretions); b) Concretions in the clay mass; c) Part of concretions collected for the laboratory analyses; village Dgnorisa

Lower Cretaceous sediments, mostly limestones with minor thin intercalations of reddish-rusty clay layers are widespread in Korvashi environs. Hematite concretions/nodules were found *in situ* in such clay layers (fig. 13 d). Initially they were identified by their streak (red). Later it was proved by petrographic studies as well. Geochemical (AAS) analysis of the nodules revealed the high grades of iron – 294 kg/t (See chapter: Desktop studies, table # 3). Accordingly, nodules are the best raw material for iron production. Hematite nodules form as a result of iron precipitation from the rich in iron fluids, mainly in sedimentary rocks. Iron sulfides are form as a result of pyrite and marcasite oxidation.

The results of exploration geological work

The results of conducted in the study area small-scale geological exploration revealed that the rocks strata within the Dogurash and Opitara-Okureshi environs are intensively shared, and hydrothermally altered (silicified and sulfidized) and accordingly have significantly lost their primary nature. The mentioned hydrothermal alterations and ore mineralization processes have been established only in the contact zone of Lower-Middle Jurassic sandstones, shales, effusive rocks and cross-cutting them intrusive bodies. Following ore minerals are present here: chalcopyrite (CuFeS_2), sphalerite ($(\text{Zn,Fe})\text{S}$), galena (PbS) and marcasite (FeS_2). From secondary minerals are observed: limonite, smithsonite, and malachite. The most common alteration types are silicification, sericitization, kaolinization, carbonatization, chloritization and pyritization. The ores are characterized by vein, massive, disseminated, colloform-banded and breccia textures (fig. 14).



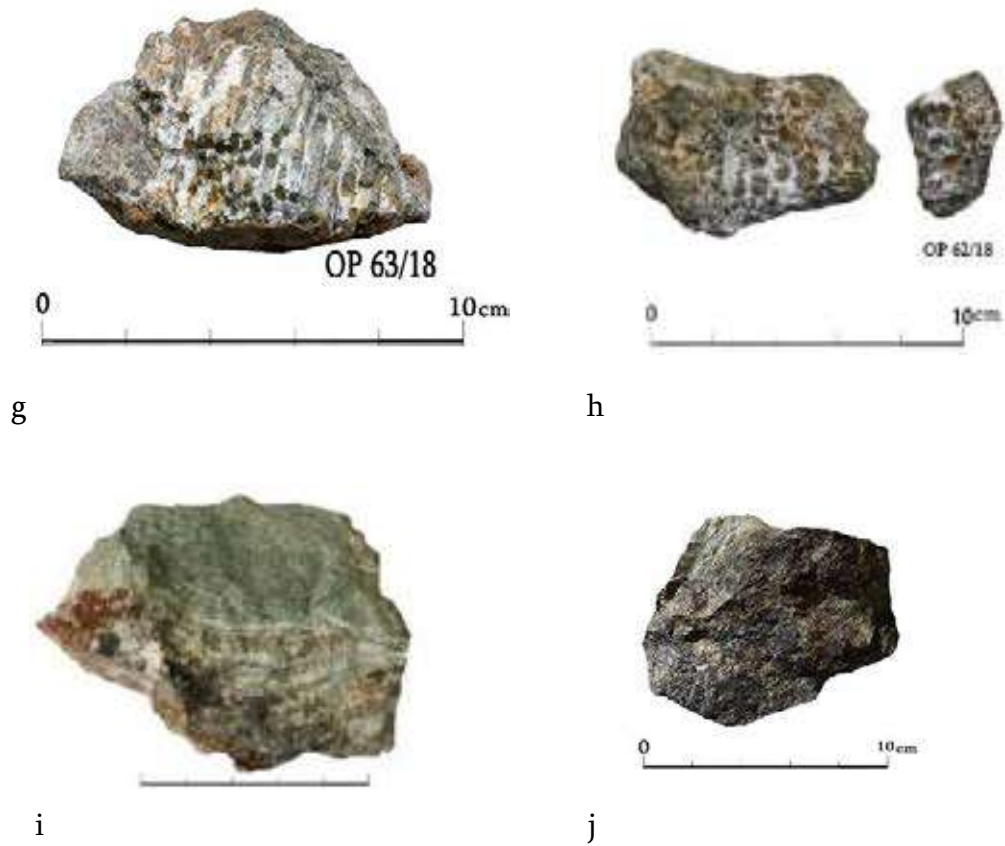


Fig. 14. Ore samples from the study area: (a) Hydrothermal breccia, with quartz and ore mineral infill and iron oxides, Dogurashi; (b) Hydrothermal breccia with galena, and sphalerite crystals grains (on the left) and films of iron oxides, Dogurashi; (c) Sample with abundant sphalerite and chalcopyrite inclusions (golden col.), Dogurashi; (d) Weathered hydrothermal breccia with clasts of silicified sandstones and oxidized matrix, Dogurashi; (e) Pyritized and silicified volcanic rock, Dogurashi; (f) Quartz vein with chalcopyrite, Opitara; (g) Evenly distributed sulfide inclusions in the host rock forming “columnar joining”- like texture, Opitara; (h) Orbicular inclusion of sulfides (sphalerite, chalcocite) with quartz. The host-rock is zeolitized and oxidized. Opitara; (i) Fluidal veins of quartz, chalcedony and chalcopyrite in the chloritized volcanic rocks, Opitara; (j) Massive sulfide ore (chalcopyrite, pyrite and pyrrhotite), Dogurashi.

Hydrothermal breccias from Dogurash and Opitara environs are monomict. Partly and intensively brecciated areas are observed. Described hydrothermal breccias are mostly clast supported (clasts dominate over matrix) (fig. 14 a, b, d). The majority of clasts is angular or subangular. Matrix consists solely of silicate or the mixture of calcite-zeolite (mainly in Opitara), which often comprises ore minerals inclusions forming dissemination, fluidal or bended textures. Some clasts are silicified sandstones (mostly in Dogurashi environs), but clasts of volcanic rocks (mostly in Opitara) which lost their initial nature are present as well.

Formation of epigenetic hydrothermal breccias is related to magmatic-hydrothermal activity and invasion of quartz and ore minerals into breccia cracks and fractures.

As a result of conducted field geological observations it was established that 24 metal smelting sites found in the Lechkhumi-Kvemo Svaneti region are spatially associated with the lower-middle Jurassic marine volcanogenic and volcanogenic-sedimentary rock strata. These are the same strata which according to available geological data host all ore occurrences and deposits identified in the study region. Only five archaeometallurgical site – Chikelashi, Okureshi I and II, Kadari and Tsindaliani Kva are located on the Cretaceous limestones, nearby the Jurassic and Cretaceous rocks contact zone (fig. 15).

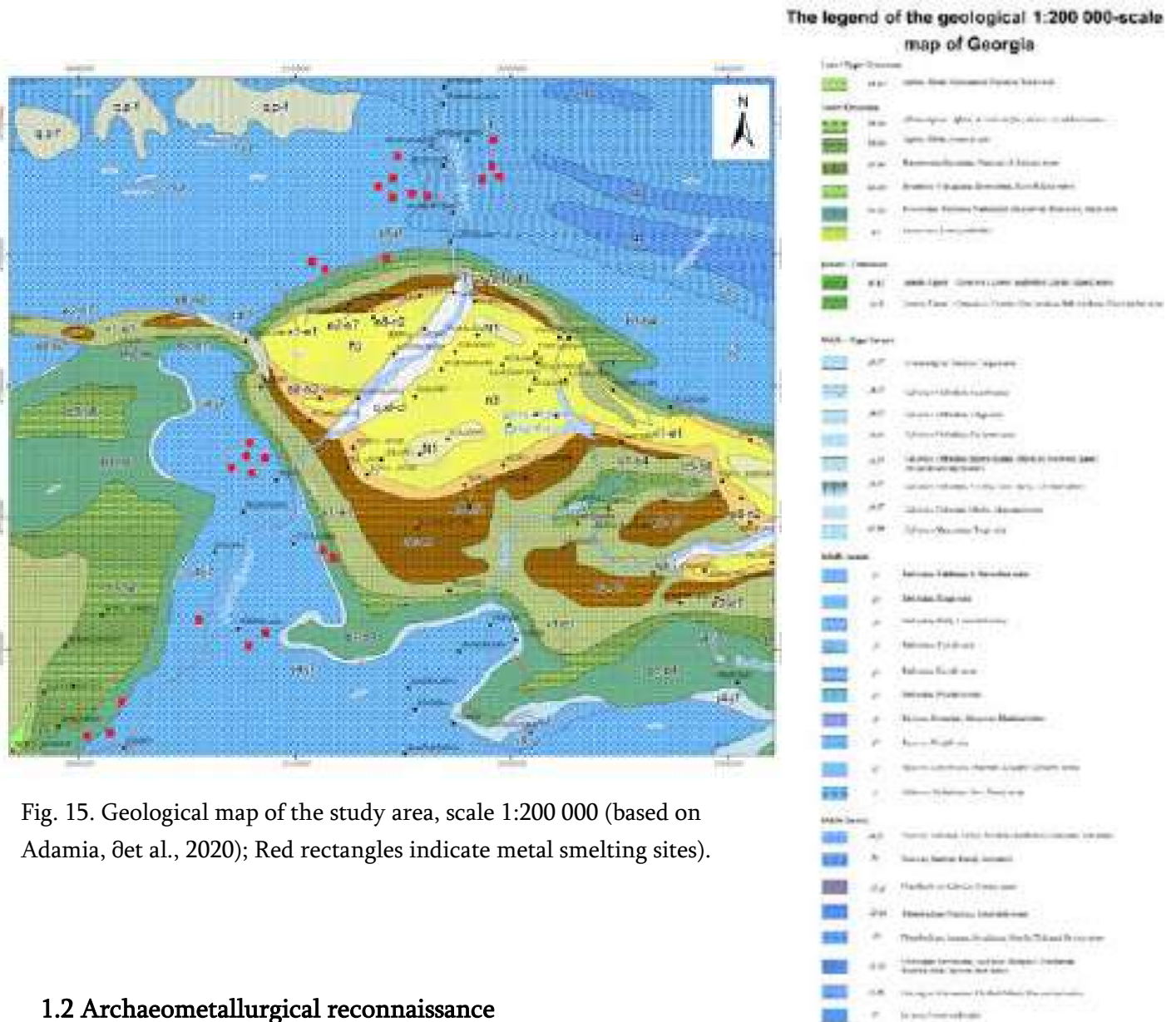


Fig. 15. Geological map of the study area, scale 1:200 000 (based on Adamia, *det al.*, 2020); Red rectangles indicate metal smelting sites).

1.2 Archaeometallurgical reconnaissance

Archaeological studies aimed to locate and map metal smelting sites using GPS; dig/ expand exploratory trenches at previously found and already being under investigation archaeological sites; collecting of metallurgical waste: slags, crucibles, tuyères and furnace wall fragments for the desktop and laboratory studies.

The 2020-2022 archaeometallurgical field-reconnaissance work was continued in the vicinity of the villages of Chikelashi (village Gveso area), Okureshi (places Didlodebi and Satibib), Shavbinula (village Rtskhmeluri area), Gvimbrala (place Zhibe Moli).

Chikelashi

Chikelashi is situated on the right bank of the river Tskhenistskali, \approx 5 km NW of Tsageri, on the southern slope of the Chikelashi limestone plateau (fig. 16). The metal smelting workshop Chikelashi (314932 N; 4725680 E; h=1445m) was discovered in May 2019.



Fig. 16. The river Tskhenistskali valley and Tsageri; White arrow indicates Chikelashi; View from the Orbeli serpentine road

The Chikelashi smelting site is located in the forested area, on the meadow cleared for arable land/cornfield, on the rise/hillock situated between two natural (karst) depressions. Here abundant fragments of slags, crucibles, tuyères and furnace wall fragments were found as well as roasted soil layers formed on the highly eroded surfaces of the hillock (fig. 17).

In contrast to other smelting sites, Chikelashi and its environs – the discovery area of metal smelting site is situated on lower Cretaceous calcareous rocks (glauconite sandstones, marly and dolomitized limestones with flesh-colored and pink chert inclusions). About 500 m to the North Cretaceous rock strata is overlain unconformably by middle Jurassic rocks of the Bajocian “porphyritic” suite. Observation of Chikelashi environs didn’t reveal any altered or mineralized zones. Instead, weakly defined karst landscape with common features such as cirque valleys and negative/collapsed surface features of various size and shapes (sinkholes, funnel shaped sinkholes) is well-observed here (fig. 18).



Fig. 17. Aerial photo of Chikelashi environs (photo by V. Mamiashvili)

Seven similar structures were found within the area, two of them in close vicinities of the site. Questions arose, where did prehistoric miners extract ore from, or did they use the karst depressions formed in the mentioned rocks for ore extraction.

Three exploration test trenches dug in 2019 were widened at the Chikelashi archaeometallurgical site (fig. 19, 21, 22). The Karst sinkhole nearby the smelting site was cleaned in order to find traces/signs of ancient metallurgical activity (fig. 20).



Fig. 18 a) Karst topography features; b) Collapse sinkholes; Chikelashi

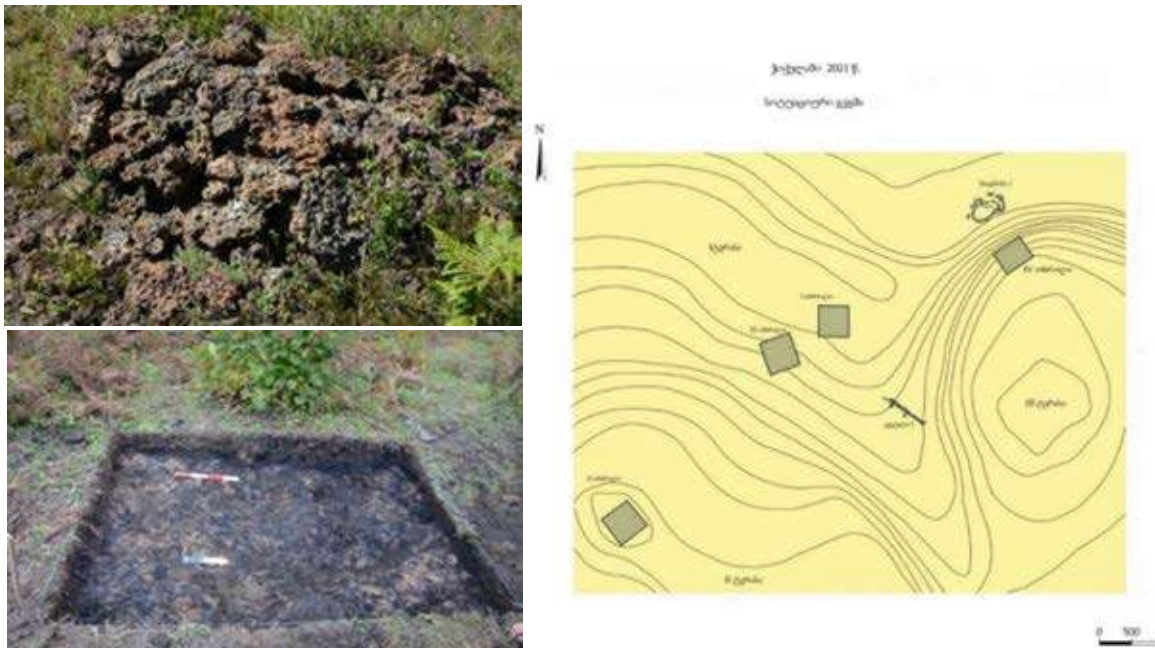


Fig. 19 a) Slags; b) Test trench #1; c) topographic sketch map (by I. Esvanjia) of the site discovery area. Chikelashi

In the exploration trenches, cultural layers have been identified in the sterile intensely yellow loam stratum cross-sections. The layers comprise intercalations of carbonaceous

sediments of various thicknesses with metal smelting residues – slags, crucibles and fragments of toyèrees (fig. 19, 21-23).

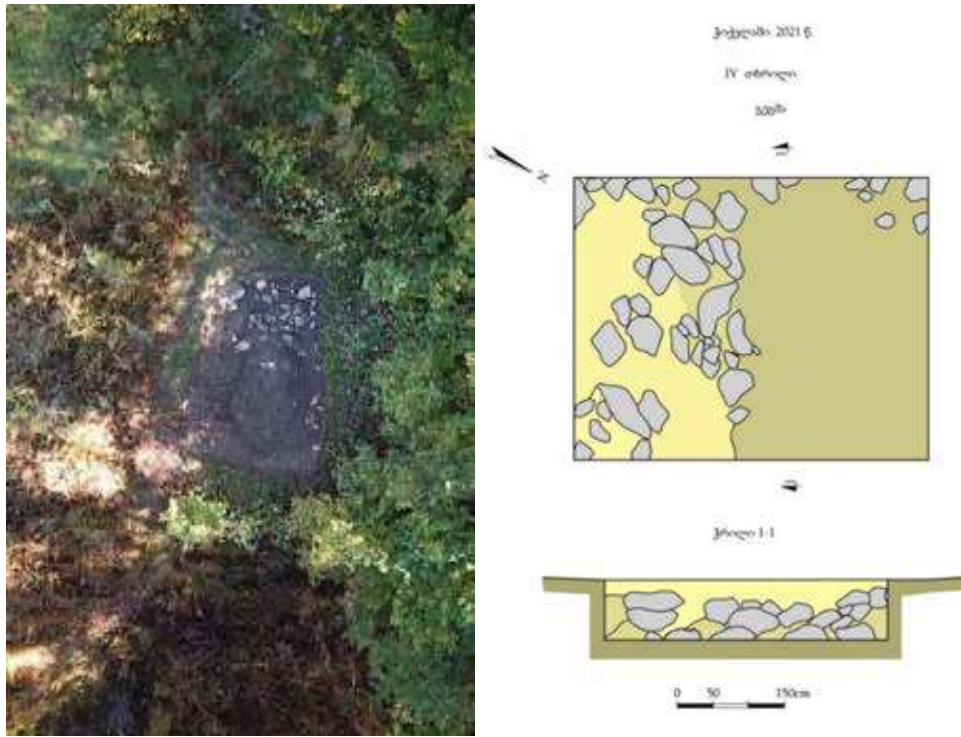


Fig. 20 a) Karst sinkhole; b) Trench # 4, plan, cross-section (by I. Esvanjia). Chikelashi

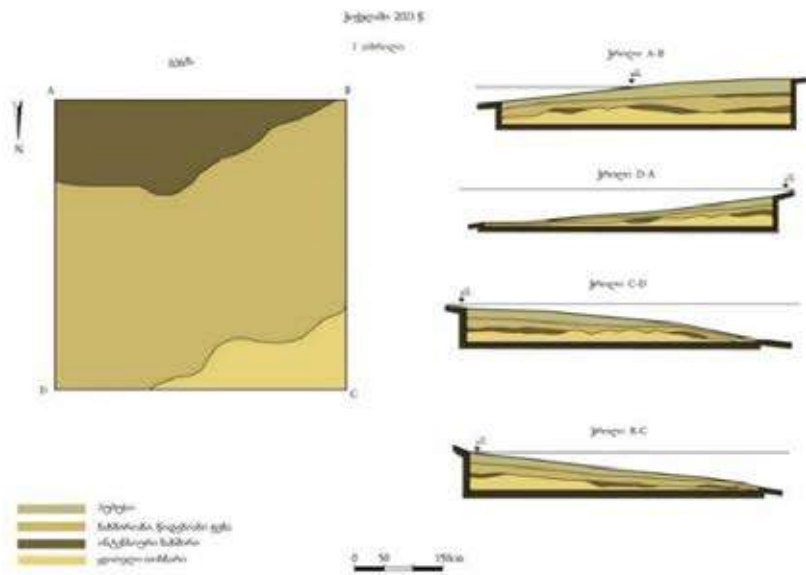


Fig. 21. Trench # 1, plan, cross-section (by I. Esvanjia), Chikelashi

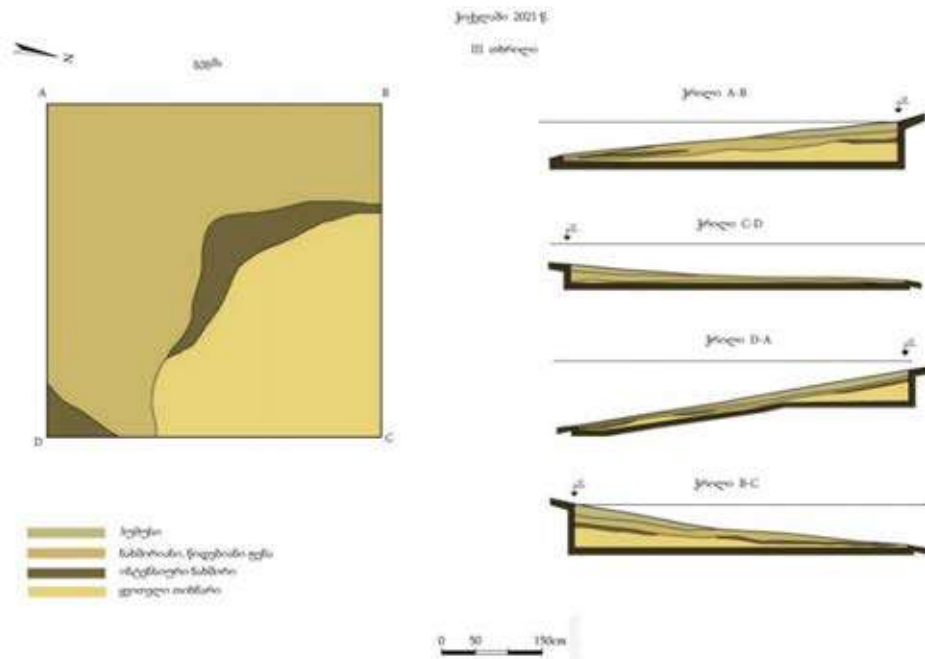


Fig.22.Trench # 3, plan, cross-section (by I. Esvanjia). Chikelashi

Clearing of sinkhole has revealed its rounded shape (dimentions - 4×5 m). It was filled by the debris of large limestone boulders, apparently fallen from above. The sinkhole is of completely natural origin. Cultural layers were not established in the sinkhole.

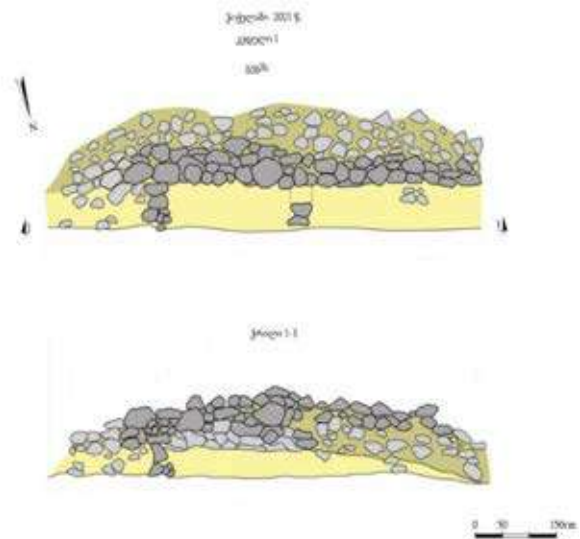


Fig. 23. The wall of the construction; б) Plan and cross-section (by I. Esvanjia). Chikelashi

During the reconnaissance conducted in 2019, our attention was drawn to a wall built of large and medium-sized limestone boulders (so called “Kore” Georgian term for stone outside wall) on the elevated place (saddle) between the hollows. Clearing of the structure revealed the remnants of the structure built using dry stone construction techniques apparently on the foundation of natural limestone, which at present is almost disintegrated (dimensions- length 6 m, height from the foundation - 90×60 cm). It is tilted in EW direction and in one place, westward even makes an angle (fig. 23).

On the ridge which is covered by forest and shrubby vegetation and surrounds two natural hollows from the north, almost on the entire perimeter, in every 20-30 meters a round-shaped stone mounds came into sight. Clearing of on of such mound revealed a quadrangular-rounded storehouse built with dry piles of big stones (dimensions 6×3 m, 70-80 cm, height 40-60 cm) (fig. 24).

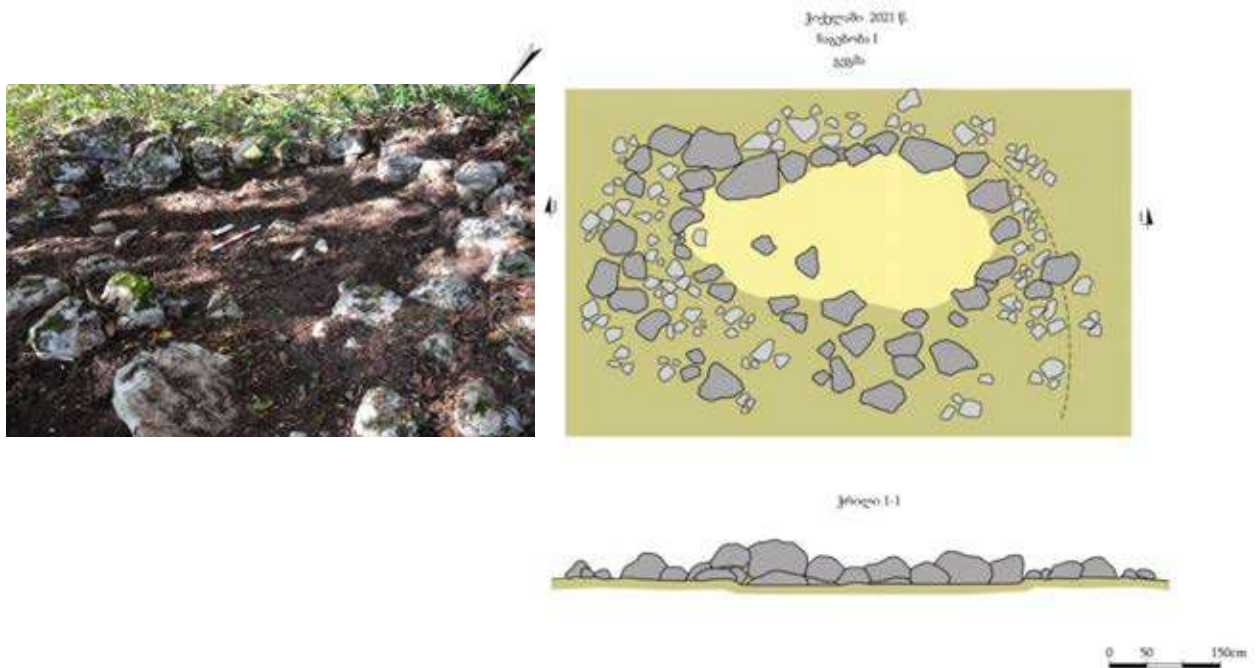


Fig. 24. Storehouse #1; Photo; plan and cross-section (by I. Esvanjia). Chikelashi

Apparently at Chikelashi we have to deal with a spread over the broad area large old settlement complex. Archaeological excavations have not been carried out on the site so far, therefore we cannot talk about its age and content, as well as its link to the copper smelting workshop located here.

Slags and technical ceramics samples were collected at Chikelashi (see chapter: Desktop studies; abbreviation of Chikelashi samples-Ch.).

Okureshi

The Okureshi village is situated on the right bank of the river Tskhenistskali, on the NW slope of the Khvamli massif, 18 km away from Tsageri. Okureshi environs are mainly made up of Middle Jurassic volcanic and volcano-sedimentary rocks strata. In the NE direction they are overlain by Upper Jurassic, Kimmeridgian/Tithonian sedimentary rocks, which in way-up section grade into Lower Cretaceous - valanginian-hauterivian quartz-arkose sandstones and dolomitized limestones. In the contact zone of the Jurassic and Cretaceous rocks strata, 2 km SE of village Okureshi, in the vicinity of the ground road and place “Didlodebi” a new metal smelting site/workshop was found (311850 N; 4710728 E; h=1079) (fig. 25). Here, in the fairly broad area cultural layers dissected by small dry ravines/gullies have been established (fig. 26 a).



Fig. 25. Metal smelting sites (indicated by arrows) at the toe of the Khvamli massf. Okureshi environs

Main water source of the gully is rainwater and snowmelt, which washed out small-size material (artefacts), as in the bed of the gully only large lumps of slags could be found (fig. 26 c, d), whilst the small size artefacts are preserved in the incised cultural layers.

In $\approx 500\text{m}$ to the east and upward, after crossing the road, in the forest we found a similar, but fairly well-rounded archaeometallurgical debris/material. Further upward in $\approx 2\text{ km}$ of the place “Didlodebi”, at the place “Satibebi” abundant slag debris and carbonized soil layer was observed (311952 N; 4710521 E; h=1155). The cultural layers here are also incised by temporary streams, but are relatively better preserved than at Okureshi I (Figs. 26 e and 28).



Fig. 26 a) Okureshi I (Didlodebi), the ravine where cultural layers were found; b), c) and f) Slags and ceramics from the Okureshi smelting sites; Cultural layer; Okureshi II (Satibebi)

Three test trenches, two at Okureshi I (Didlodebi, fig. 27 a, b) and one at Okureshi II (Satibebi) were dug in order to establish the thickness of cultural layers. Test peats revealed that both places are intensively dissected by gullies and the most of record is lost. Nevertheless, a large amount of metallurgical waste (large size slags, fragments of furnace walls, crucibles

and toyères) was collected. Carbonized/charred and burnt/reddened layers appeared in the section. As the site was damaged, it was impossible to identify thick cultural layers (fig. 29 a, b and fig. 30).

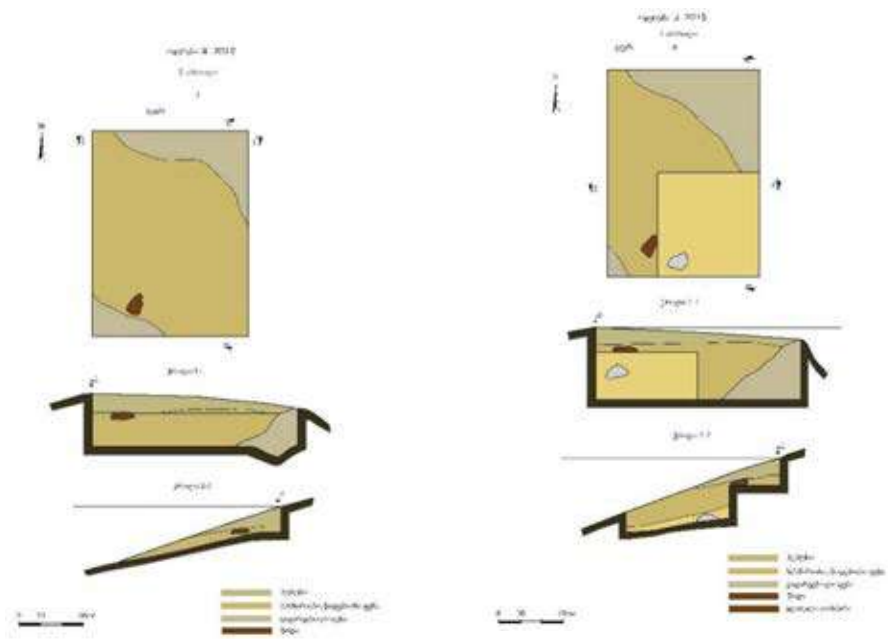
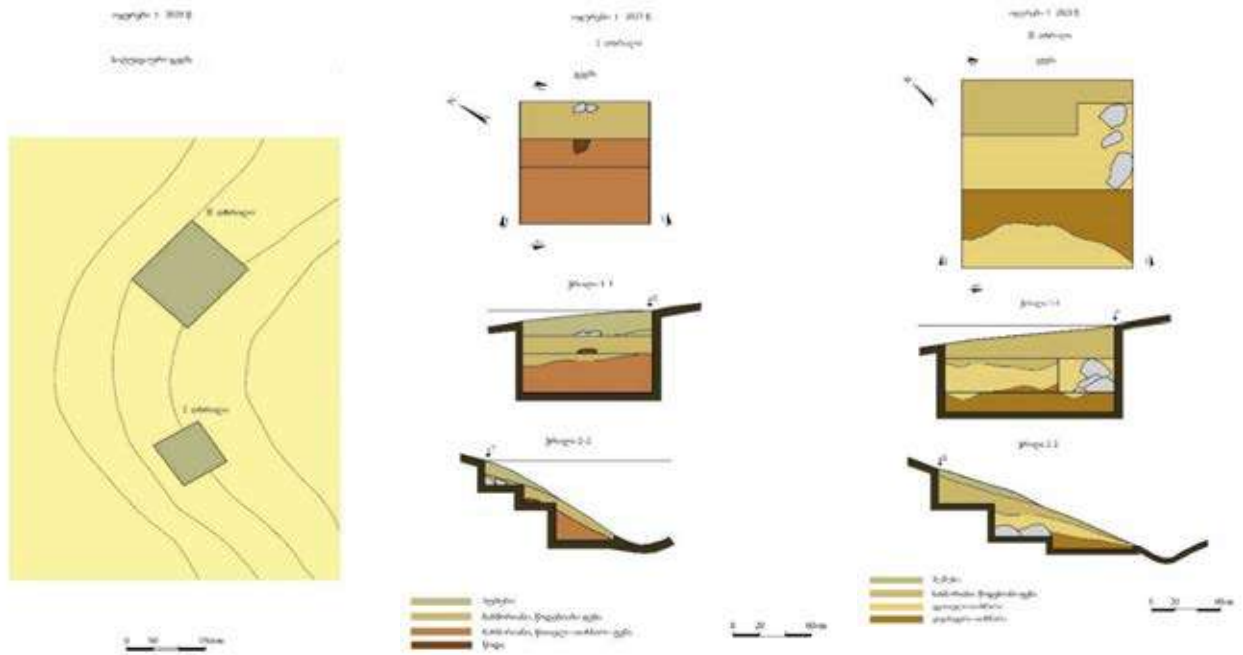


Fig. 27 a), b) - Okureshi I, “Didlodebi”, trench # 1 (100 cm×100 cm) trench # 2 (150×170 cm)

Slags and technical ceramics samples were collected from the both metal smelting sites for various types of laboratory analysis (see chapter: Desktop studies; abbreviation of Okureshi samples -Ok).



Fig. 28 Okureshi II, “Satibebi”, trench # 1 (200 cm×150 cm)



Shavbinula

Archaeological reconnaissance in Kvemo Svaneti was carried out at the metal smelting site (place Shavbinula) situated above the village Rtskhmeluri ($42^{\circ}42'19.8''\text{N}$; $42^{\circ}47'11.5''\text{E}$; $h=1118$). In the exploration trench thin cultural layer - black carbonized sediment with fragments of slags and ceramics. At a depth of 0.35 cm from the surface, a layer with clay admixture comprising small stone fragments appeared. Such a layer can be found on other sites as well, as a rule, it is overlain with a cultural layer (Figs. 31 and 32 a, b).



Fig. 31 a), b) "Shavbinula", c), d) exploration trench, e), f) Fragments of furnace walls and slags

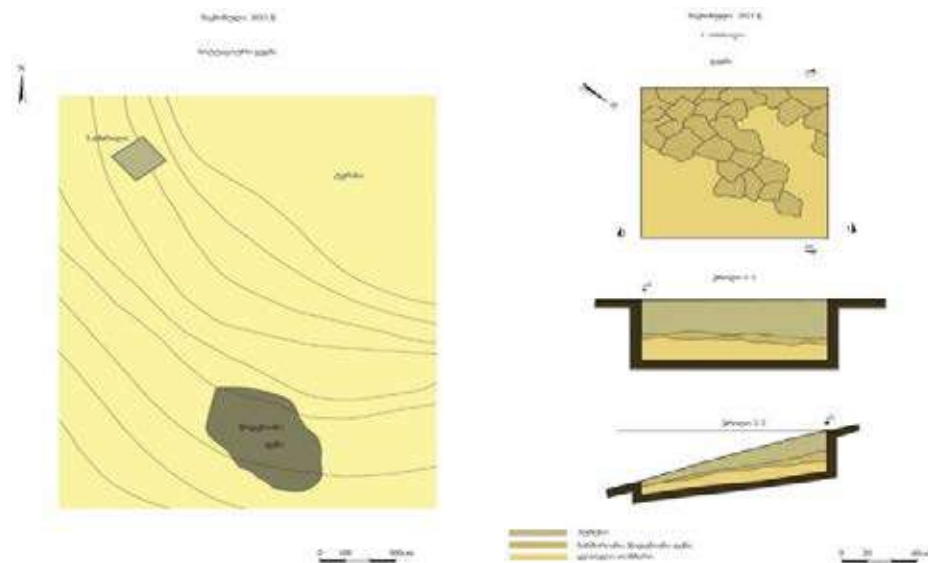


Fig. 32 a) “Shavbinula”, a) situation plan/site sketch; b) cross-section. (by I. Esvanjia)

Gvimbrala

During field work 2021, another new archaeometallurgical site was found and recorded in Kvemo Svaneti (GPS # 652, 42°42' 9.8"N, 42°47'11.5"E, h=1118 m.). It is situated in the village of Gvimbrala, the place Zhibe Lara (upper field) in a large field at the top of the village. At the end of the village flows a brook – Gvimbralastskali. Zhibe Lara is fairly similar to the already investigated archaeometallurgical site Dogurashi. Archaeometallurgical material - slags, crucible and furnace wall fragments, and reddened/roasted stones (quartz sandstones) were collected superficially here (Fig. 33).



Fig. 33. Village Gvimbrala, place Zhibe Lara

Opitara

To the west of the village Opitara (at the end of the village), on the right bank of the Tetrigele river, slags were found during land cultivation on one of the agricultural plots. At the indicated place—observation point #335 (42°30'39.6"N 42°39'27.1"E; h=752m.) slags and fragments of rough, coarse-grained ceramics were observed (Fig. 34). Based on the initial examination of slags and ceramics, archaeometallurgists and archaeologists supposed that the said slags are products of iron and not copper smelting, so-called tap-slags (typical iron "flow" slag), and ceramic fragments according to comparative-typological analysis should be medieval.



Fig. 34. Iron metallurgy industrial waste, village Opitara

Another iron-smithing site was found on the outskirts of the village Opitara (317125N; 4724376E; h=522). Archaeometallurgical material - light slags (without malachite coatings) and coarse ceramics fragments are scattered over an area of about 300 m² (Fig. 35). This is the third iron-smelting site established at Opitara.



Fig. 35 a) The discovery area of slags, a view from the village to the Askhi plateau located in the east; b) recently cut cultural layers, Opitara.

Slag samples for various type of analyses were collected from the iron-smelting sites.

Palinology

In 2020, the first attempt of palynological study of slags and ceramic fragments found at the Late Bronze Age archaeometallurgical sites were made. of the Late Bronze Age. Palynological research allows to obtain information related to the Late Bronze Age paleolandscape, climatic conditions, taphonomy and human activity data of the mountainous region of Colchis. Such studies were conducted for the first time at Late Bronze Age archaeometallurgical sites of Georgia. Fossil plant pollen found in the samples extracted from the stratified layers turned out to be quite informative, therefore archaeologically already investigated 7 sites were selected for palynological research during the 2022 field work. These are the Dogurashi group 3 sites in the northernmost part of the region – Dogurashi I, II, and III; located in the extreme south of Lechkhumi Okureshi group of sites – Okureshi I and II; and Chikelashi and Lukhvano (Gverdistavi) metal smelting sites located in the north-west (fig.38).

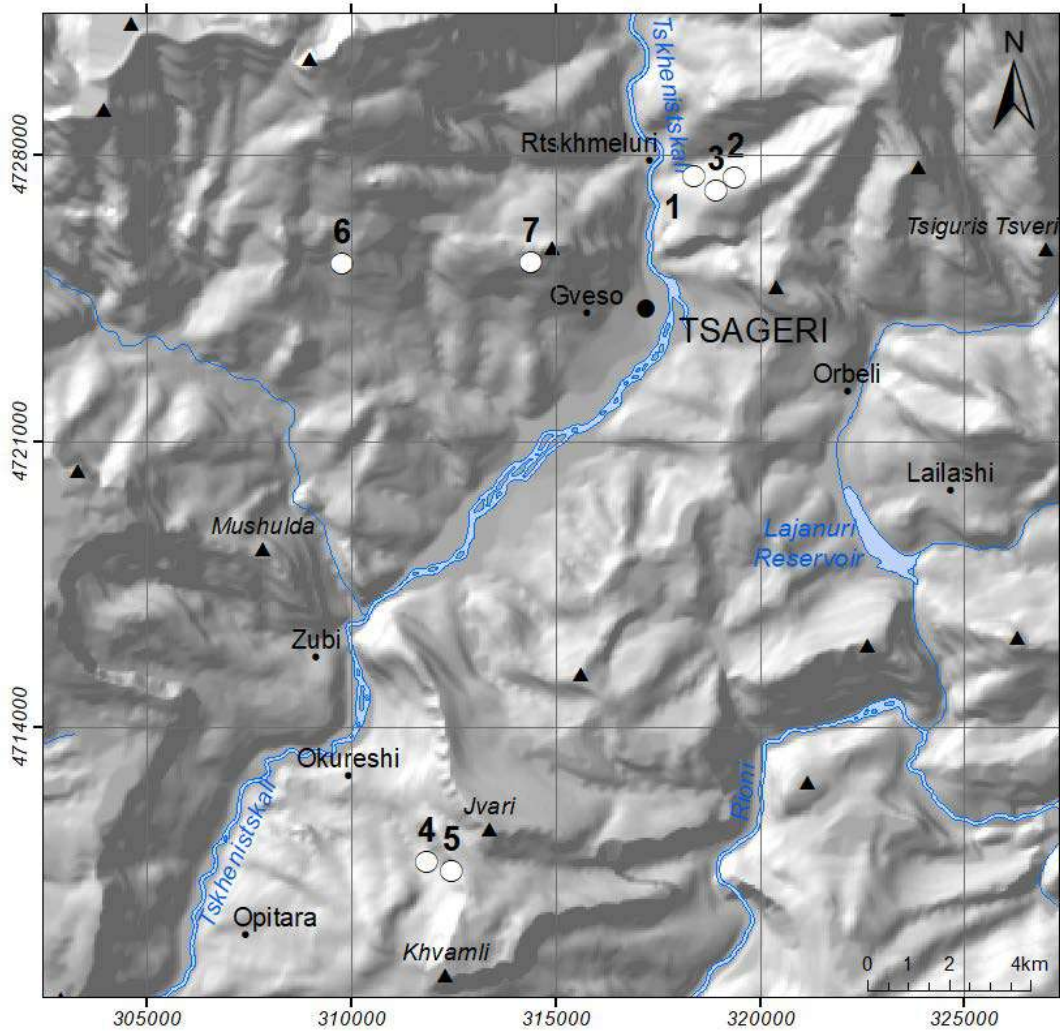


Fig.36. The map of archaeometallurgical sites where palynological studies were carried out: 1. Dogurashi I; 2. Dogurashi II; 3 Dogurashi III; 4. Okureshi I; 5. Okureshi II; 6. Lukhvno (place Gverdistavi); 7. Chikelashi.

In order to conduct palynological analysis, holes were cleaned at the prehistoric metal smelting workshops listed above, and samples of metallurgical waste - slag and technical ceramics - were collected from the cultural layers using a sterile tool (Fig. 37).



Fig. 37. Cultural layers where samples of slags and technical ceramics fragments were collected for palynological studies; a) Chikelashi; b) Dogurashi I.c) Okureshi I; d) Okureshi II; e) Lukhvano (Gverdistavi); f) Dogurashi II

Modern soil samples were collected from the above-mentioned smelting sites (environs of sites Dogurashi, Okureshi, Chikelashi and Lukhvano) in order to compare them with the

fossilized palynological spectra and to exclude contamination of the samples with pollen grains of modern plants (Fig. 37).



Fig. 38. Modern soil sampling process for palynological studies; a.) Okureshi; b.) Dogurashi

Physical map with indication of metal smelting sites found in the Lechkhumi-Kvemo Svaneti region

According to 2013-2022 data, 29 metal (copper, iron) smelting sites have been identified in the Lechkhumi-Kvemo Svaneti region, five of them were found within the framework of the mentioned project (Fig. 39). These are – Okureshi I (Didlodebi), Okureshi II (Satibebi), Gvimbrala (Zhibe Lara), Opitara II (Fe) and Opitara III (Fe) (fig. 39). The iron smelting sites in the study area are situated at hypsometrically lower altitudes (500-750 meters above sea level), while all other copper smelting workshops are located at an altitude of 750 to 1450 meters above sea level.

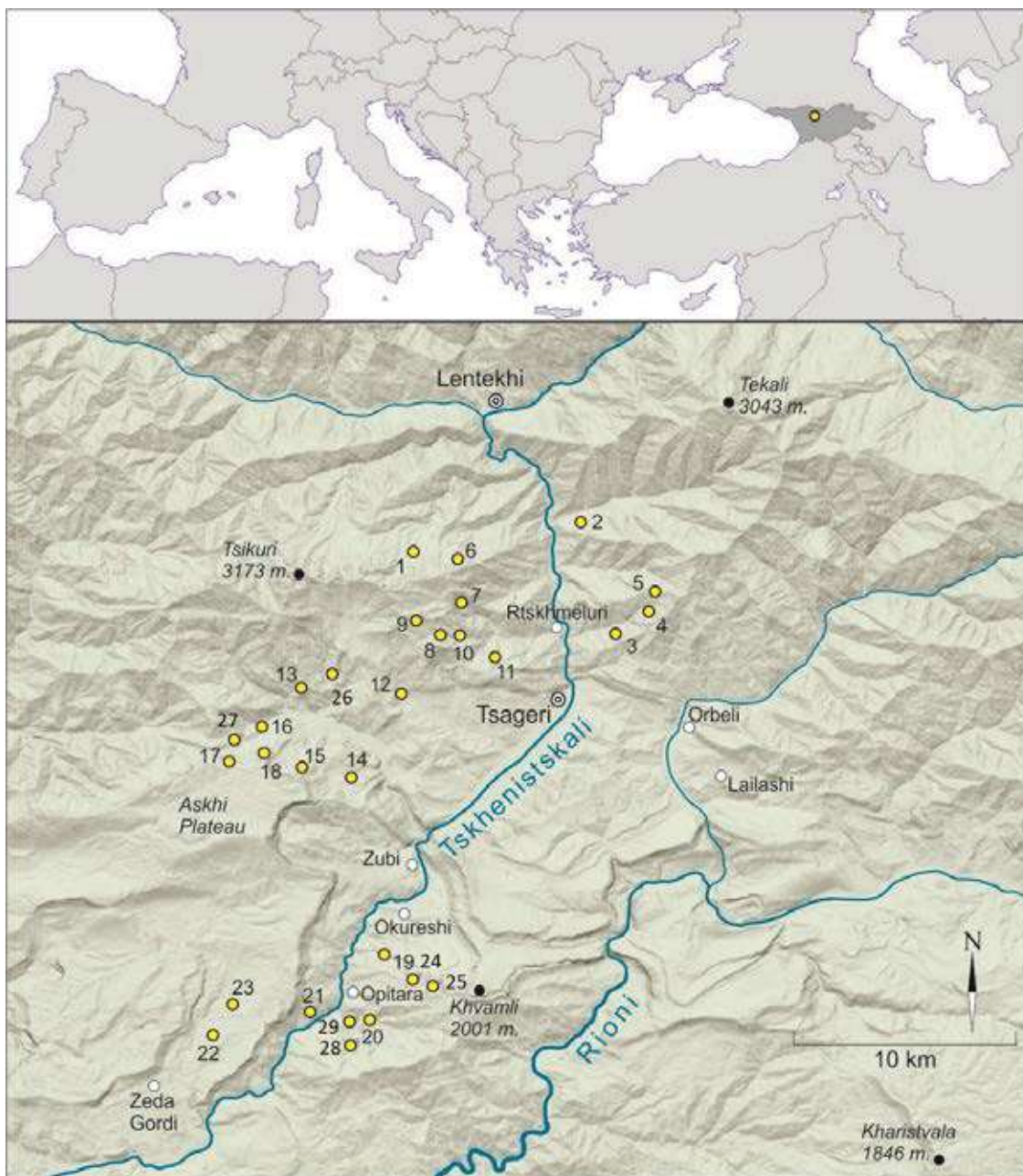


Fig. 39. Distribution map of copper and iron objects/smeltering sites found in Lechkhumi-Kvemo Svaneti area in 2013-2022

1 - Lashkili; 2 - **Gvimbrala**; 3 - Dogurashi I; 4 - Dogurashi III; 5 - Dogurashi II; 6 - Samreki; 7 - Letsperi I; 8 - Letsperi II; 9 - Letsperi III; 10 - Letsperi IV; 11 - Shavbinula; 12 - Chikelashi; 13 - Gverdistavi; 14 - Kvtsiteli (Fe); 15 - Namcheduri; 16 - Mushulda; 17 - Gabonalia; 18 - Punatskvari; 19 - Okureshi; 20 - Opitara I (Fe); 21 - Ladzgeria (Fe); 22 - Tsmindaliani (Imereti); 23 - Kadari (Imereti); **24 - Okureshi I**; **25 - Okureshi II**; 26 - Lukhvano; 27 - Gabonalia II; 28 - **Opitara II (Fe)**; 29 - **Opitara III (Fe)**.

2. Desktop studies

2.1. Typological investigation of slag and technical ceramics

Within the framework of the project, the archaeological classification of the material - slags and technical ceramics (fragments of crucibles, furnace walls and toyères) obtained from reconnaissance expeditions and archaeological excavations over the last nine years and preserved in the funds of the Tsageri History Museum was carried out (Fig. 40).



Fig. 40. Late Bronze Age material from Lechkhumi preserved in Tsageri museum archives/funds/repositories

The conducted archaeological classification is based on their macroscopic, morphological (color, texture, size, shape, thickness, weight, presence/absence of quartz crystals, rock fragments or charcoal, porosity) determination-evaluation without tools (Metten, 2003, Hanning et al., 2012, Reitmaier-Naef, 2019). It is generally accepted and established that slags can generally be divided into slag cakes, massive slag, plate slag, and slag sand, i.e., crushed slag - the same slag fragments (Reitmaier-Naef, 2019).

Typological investigation of slags in combination with geochemical, petrographic studies and archaeological excavations allows to give answers to the following questions: At which stage of copper production is this or that type of slag formed and how many stages of smelting are we dealing with? How and at what temperature did the slag solidify? Were there technological

differences between the slags from different metal smelting sites? What kind of copper ores were mainly used for metal production in Lechkhumi-Kvemo Svaneti? How efficient was the slag production process?

As a result of the typological investigation of Late Bronze Age slags from the Lechkhumi-Kvemo Svaneti region, it was established that four types of slags are found in the obtained material - (1) slag cakes (massive), (2) tap slags, (3) plate slags and (4) sand/crushed slags.

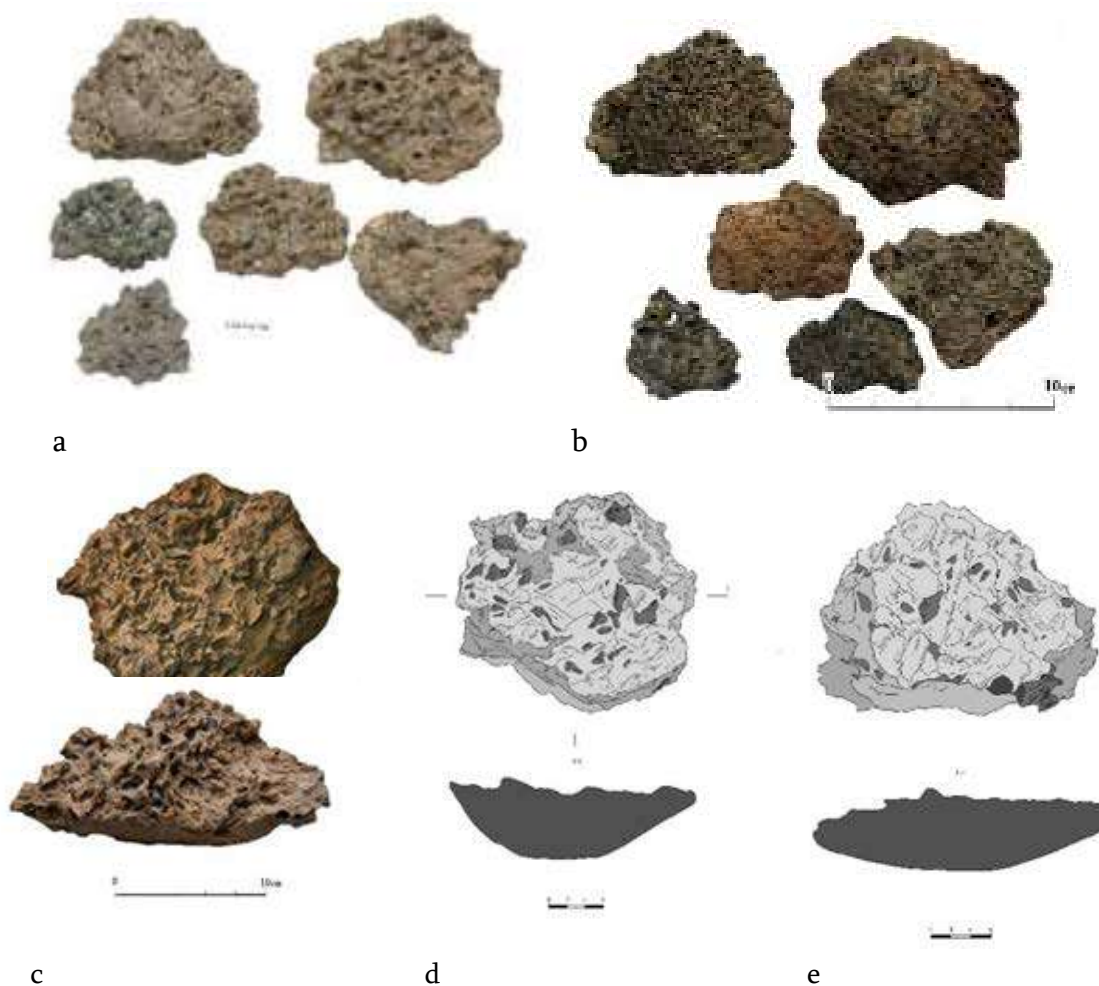


Fig. 41. Late Bronze Age slags photos and drawings/sketches, Lechkhumi. a) slag cakes, upper surface/top; b) the same slags, bottom; c), d) plano-convex slag; e) typical cake slag

In the studied material, massive slag cakes are present in the largest quantity - about 70-80% of the whole material (Fig. 41). They are of two types - (1) plano-convex slags, 12-25 cm in diameter, weight 1 - 10 kg. Their shape and volume correspond to that of a crucible and are proportional to a ceramic vessel; another possibility is that semimolten that the mass was

poured into a pit/depression arranged on the ground surface. The latter is confirmed by the clear folds and bulges on the slag cakes surface (Pryce, et al., 2010) as well as the presence of stone and ceramic fragments on the bottom surface of some of them. It should be noted that most of the large slags have a massive and homogeneous middle part (with one or several large hollows in the center), presence of small copper particles inclusions are common. (2) The size of typical slag cakes is 5-9 cm, weight 0,2-1 kg. Both slag types contain imprints of charcoal and wood.

The second and relatively less common type of slags found at Late Bronze Age smelting sites is a tap slag. These are slags of relatively small thickness (>5 cm), diameter (5-15 cm) and specific gravity, without a homogeneous/massive middle/central part. The tap slags exhibit signs of fluidity on the surfaces (fig. 42).



Fig. 42. Tap slags and the graphics, Lechkhumi-Kvemo Svaneti metal melting sites.

Abundant fragments/shards of slag cakes as well as of tap slags – so called slag sand, i.e., crushed slag (fig. 43).



Fig. 43 a.) Slag shards- so called slag sand, i.e., crushed slag, Dogurashi II

Slag sand is a derivative of described above slag cakes, tap and platy slags. About the origin of crushed slag Bachmann (1982) suggests that in prehistoric times metallurgists crushed/smashed slags in order to extract copper grains from them or prepared fragments of crushed slag for re-smelting. In the Prehistoric period, the smelting process was not fully mastered and complete metal separation from the slag was not possible, therefore the smelted copper grains were extracted manually from the slag (Hauptmann 2000: 101–116; Hauptmann et al., 2003; Bourgarit 2007). Apparently, the layer/heap of large-sized slag cakes and sand/crushed slags (height - 1.80 cm, area - 50 m²) "stacked" at Dogurashi I was probably meant for further processing.

Among the slags obtained at the metal smelting sites of Lechkhumi-Kvemo Svaneti, platy slag often referred to in the literature as Plattenschlacken is the rarest finding. This type of slag was found in single quantity at Dogurashi I, II and Chikelashi metal smelting sites (Fig. 44). Platy slags mostly occur only as small angular fragments and are relatively brittle. They are commonly porous and homogeneous. The thickness of each of them is more or less equal/similar - 2-4 cm.

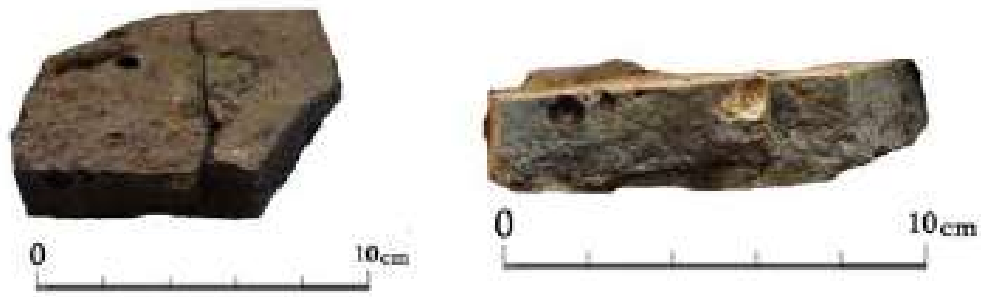
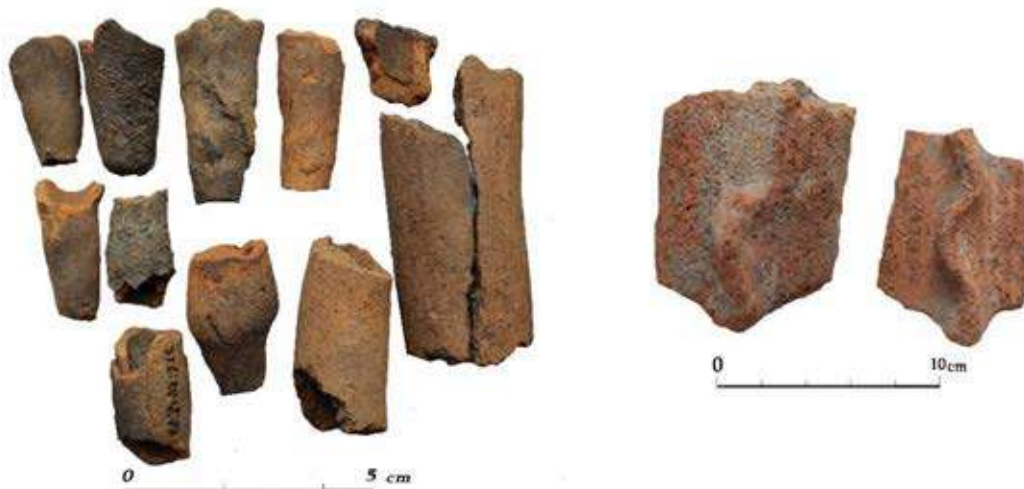


Fig. 44. Platy slag. Smelting site Dogurashi II

One of the most important remnants/waste types of ancient metallurgical activity is technical ceramics, which is mainly represented by fragments of toyères, crucibles and smelting furnace walls. Fragments of pottery, typical Colchis pottery characteristic to Late Bronze-Early Iron period Colchis culture are present as rare findings.

Two types of toyères are common for Lechkhumi-Kvemo Svaneti smelting sites. They differ from each other in size and thickness (fig. 45 a). Toyère items are of two types- with small and large diameter. Their wall thicknesses differ from each other as well. Thick- and thin-walled samples are present as well. Toyères are made of red double-layer coarse-grained clay. Intense traces of metal smelting, in the form coating/films/incrustations in the toyère-smelting furnace junction areas indicate to intense traces of metal smelting. In the middle/central parts and the ends of the toyère metal smelting traces in the form of slag are not defined. Fragments of toyère curved on its walls wavy-embossed snake-like ornament attract special interest (fig. 45 b).



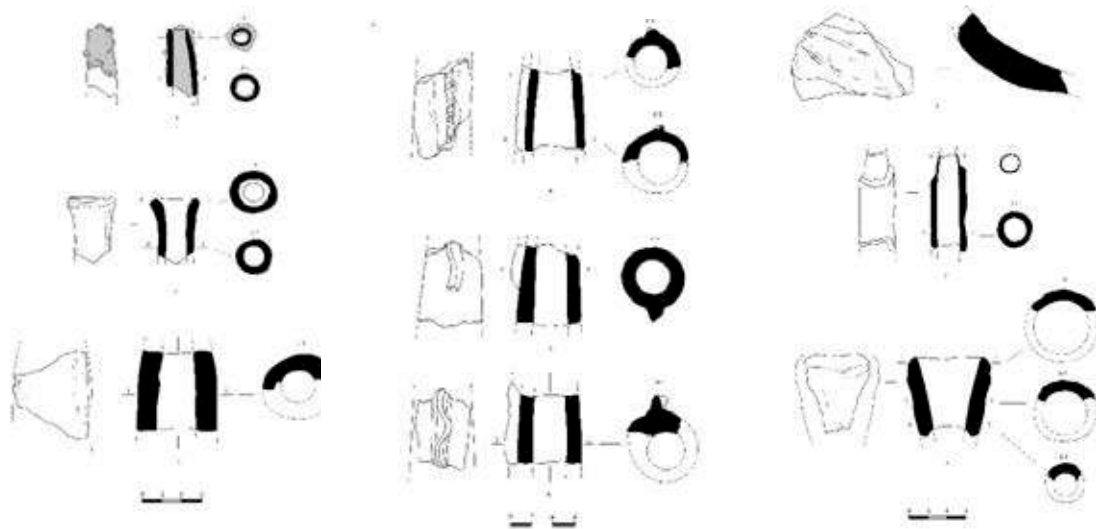


Fig. 45. Toyères a) Fragments of both types of toyères from metal smelting sites Dogurashi I and II; b) Fragments of ornamental toyère. d) sketch drawings of toyères

Crucible fragments are the most important part of technical ceramics (Hein A., 2007). The crucibles are made of coarse-grained gray refractory clay. Typologically, two main types of smelting pottery are identified: large thick-walled and relatively small thin-walled types. Fragments of large crucibles have several layers of slag preserved not only on the inner walls (there are many in the described material), but also is protruded over the mouth of the crucible, which means that the metal foamed during the boiling process and boiled over the clay vessel (fig. 46 a. fifth from the left in the middle row and 46 g, left two samples).



a

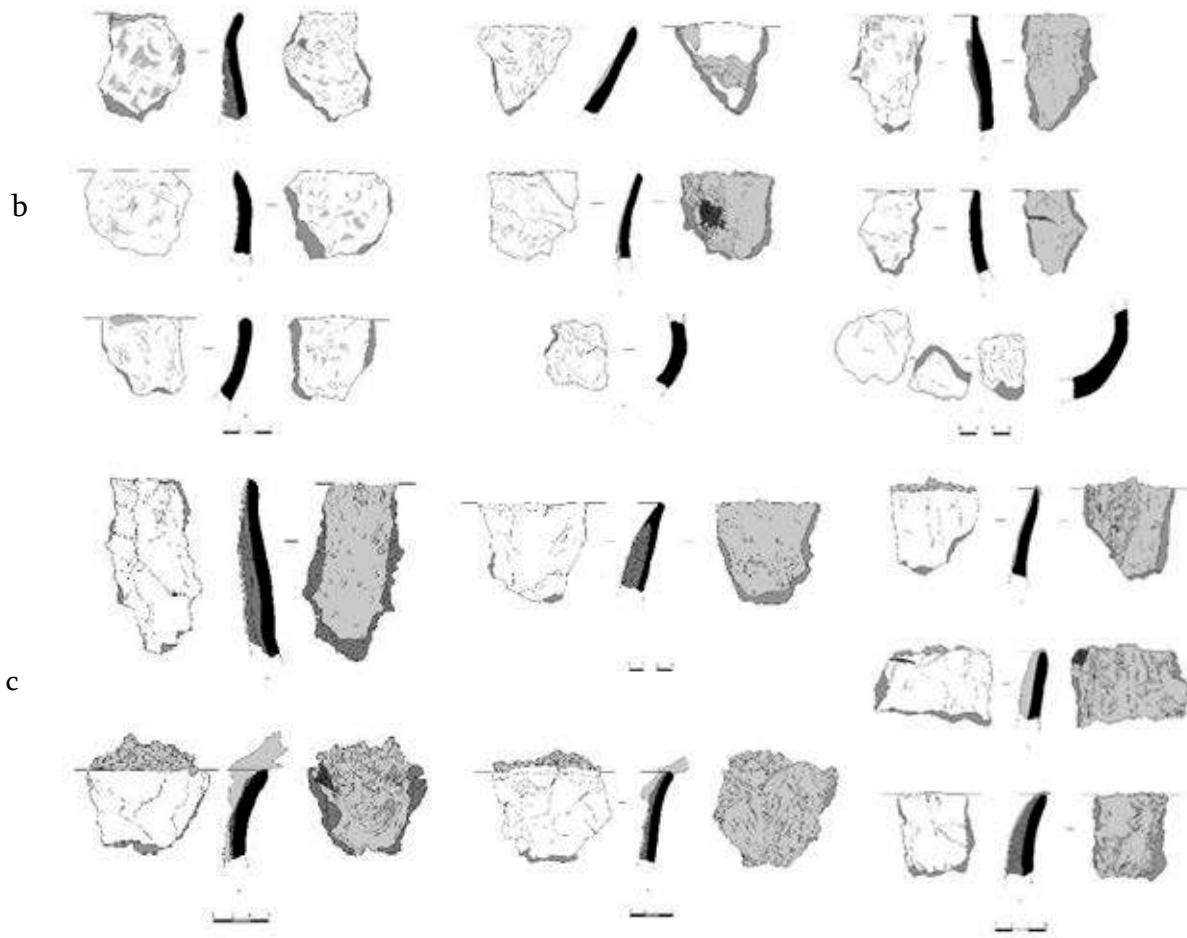


Fig. 46. Photos and sketch drawings of two type crucible fragments

During metal melting, large amounts of gas/air are generated on the top of the molten mass and cause foaming of the liquid slag, which directly depends on the physical properties of the liquid slag. There are several factors that reduce the amount of foam formed on the slag, namely: FeO content, viscosity, carbon and oxygen injection (Vieira D., et al., 2017). On the relatively thin-walled and small-sized ceramic fragments metal smelting traces are not identified at all, or they are fairly rare. Traces of pottery glaze can be noticed on their inner sides as well as fine disseminations/inclusions of copper on some of them. It is likely that the presence of these two types of crucible fragments is related to different stages of metal smelting and they were used for different processes (Zhenfei S., 2022). It is interesting and worth noting the fact that fragments of both crucible types are found only with fragments of the sides and mouths of the vessels, while the fragments of ceramic vessel's bottom parts are fairly rare findings (two fragments). One of the reasons for this may be that the bottom was easily

damaged/disintegrated at high temperature and crushing of the collected from the surface crucibles by metallurgists in order to extract the pure ingot.

2.2. Petrography analysis

Within the project framework petrographic analysis was carried out on slag and mineralized rock samples from the Lechkhumi-Kvemo Svaneti prehistoric metal smelting sites. About 70 thin sections were prepared in the Caucasus Mineral Raw Materials Laboratory, and petrographic descriptions were carried out in the National Museum of Georgia using a polarizing microscope - OM239P.

Slags petrography. The slags selected for thin section petrography studies were divided according to their macroscopic characteristics: (a) porous, light slags – tap slags; (b) massive, uniform samples – slag cakes.

(a) # D2-801/22 – Tap slag (porous, light, with malachite).

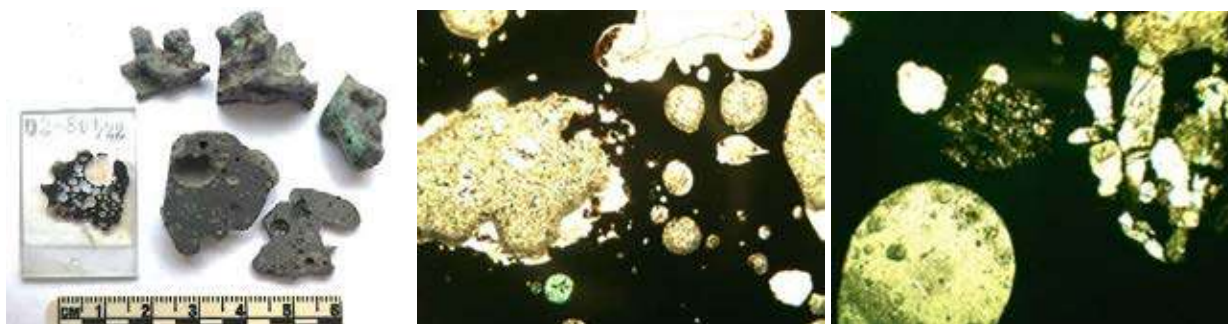


Fig. 47 a) Slag hand specimen #D2-801/22; photomicrographs: b). x25 xpl; g.) x40 xpl

D2-801/22 In the hand specimen photomicrograph various size pores/voids are disseminated in the glassy isotropic groundmass. Fine inclusions/impregnations of sulfides and copper/cupric carbonate (two green oval-shaped inclusions) are observed as well; (b) Unfused/unmolten quartz crystals of various sizes in the center - white bipyramidal crystals on the right; (c) The slag structure exhibits the rapid cooling phase of the melt.

(a) # Gv-676/22 – Tap slag (porous, oxidized, light).

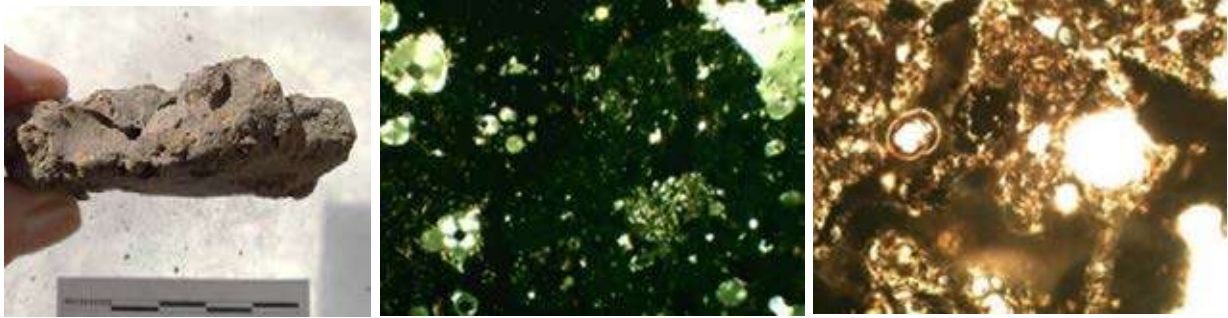


Fig. 48 a) Slag hand specimen# Gv-676/22; photomicrographs: b). X40 xpl; c). x100 ppl

Gv-676/22 – groundmass structure/texture is hypocrySTALLINE where glass amount exceeds that of crystals. (b) fine-crystalline quartz microcrystals, voids/pores of various sizes and impregnations of oxidized metals are seen on the photomicrograph.

(a) # D2-800/22 – Tap slag (porous, malachite flakes and charcoal inclusions).

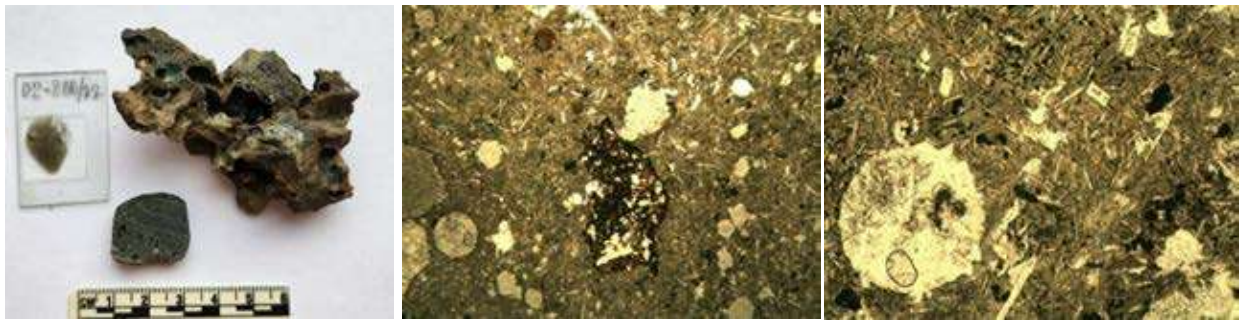


Fig. 49 a) Slag hand specimen # D2-800/22; photomicrographs: b). X40 ppl; c). x100 ppl

D2-800-22 – groundmass is the mixture of amorphous glass and fine-grained/crystals of olivine (fayalite, Fe_2SiO_4), rarely of pyroxene. Inclusions of copper sulfides or metallic copper are observed as well; (b) charcoal fragment – in the center of the photomicrograph.

(a) # D11/20 – Tap slag (porous, inclusions of malachite and oxides)

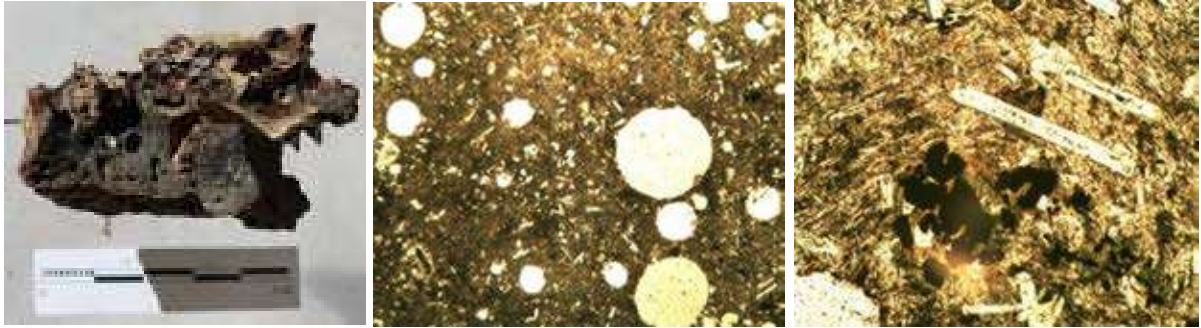


Fig. 50 a) Slag hand specimen #D11/22; photomicrographs: b). x25 ppl; c). x100 ppl

D11/20 – the photomicrograph exhibits semicrystalline texture made of silicate glass, fayalite and magnetite grains (black grains), and copper inclusions.

(b) # Ok15/20 – Massive slag – homogenous nonporous part of the slag cake.

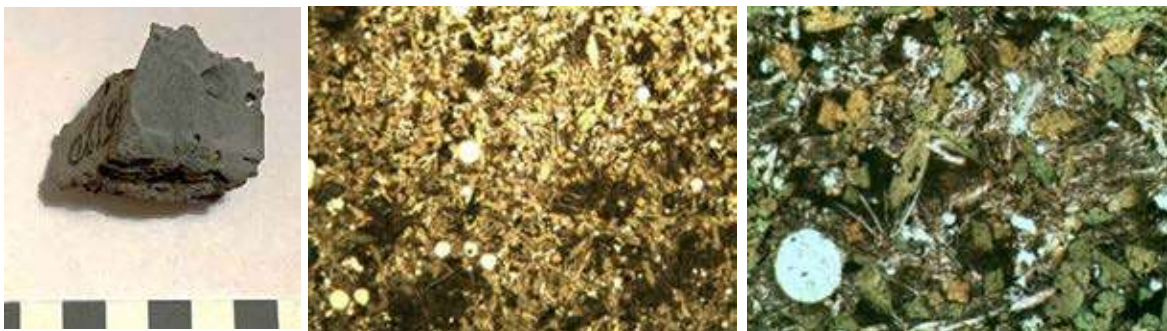


Fig. 51 a) Slag hand specimen # Ok15/20; photomicrograph b). x25 ppl; c). x100 xpl

Ok15-20 Specimen exhibits holocrystalline texture which comprises olivine (fayalite) and pyroxene (green) crystals. Oval-shape copper inclusions (white) are present as well.

Ok671/22- homogenous part of the slag cake with sulfide impregnations.



Fig. 52 a) Slag hand specimen # Ok671/22; photomicrographs: b).x100 xpl; c). X40 ppl

Ok671/22- The oval shaped inclusion in the center of the specimen photomicrograph comprises a spectrum of copper sulfides from chalcopyrite to metallic copper. (b); typical copper slag texture and composition – aggregate of fayalite, magnetite and pyroxene crystals. (c) photomicrograph.

(b) # D12/19 – Homogenous part of the massive slag with small number and size of pores.

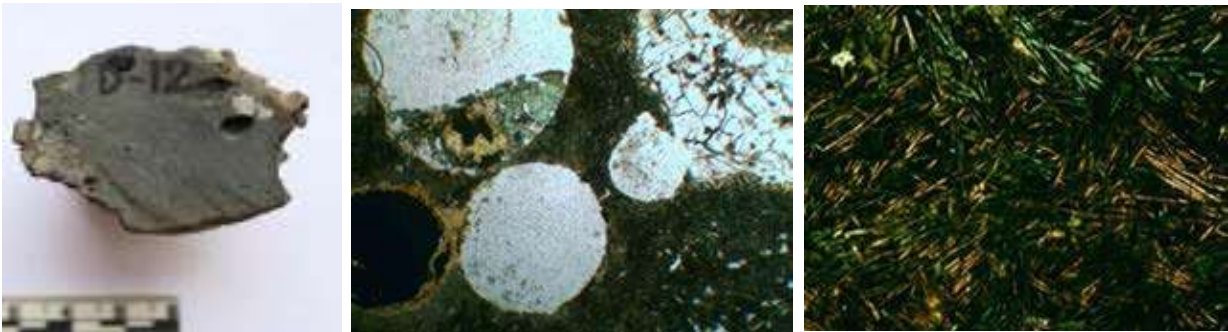


Fig. 53 a) slag hand specimen # D12/19; photomicrographs: b).x100 xpl; c). x100 ppl

In the first photomicrograph of D12/19-pores/voids comprise sulfides (green) in some places and quartz inclusion (on the right); the total area of the thin section consists of chaotically arranged fayalite needle-like crystals (high interference colors).

(b) #D7/19 – Homogenous part of slag cake



Fig. 54 s) Slag hand specimen # D7/19; photomicrographs: b).x100 xpl; c). x100 ppl.

#D7/19 exhibits a different faze of copper smelting – elongated (high interference colors) crystals in the glassy groundmass. Magnetite (spinel) grains (black aggregates) are observed as well.

(b) #D1/19 Massive, homogenous slag with copper impregnations.



Fig. 55 a) Slag hand specimen # D1/19; photomicrographs: b). X 25 ppl; g). X40 xpl.

D1/19 thin section comprises fayalite and pyroxene crystals with minor amount of silicate glass; (b) sulfide inclusions (golden color).

(b) #Dog. 6.20" – Homogenous massive slag with minor amount of pores/voidsvand quartz inclusions (lower margin of vthe photomicrograph).



Fig. 56 a) Slag hand specimen # D1/19; photomicrographs: b). X 40 xpl; c). X100 ppl.

The homogenous part of the slag cake Dog. 6.20" thin section area consists of elongated crystals of fayalite (high interference colors), black (opaque) cubic crystals of pyroxene and magnetite; b) white circle indicates copper impregnations.

(b) # Ok-11/22 – Massive, homogenous slag where elongated/needle (pin)-like crystals of fayalite are visible even to the naked eye.

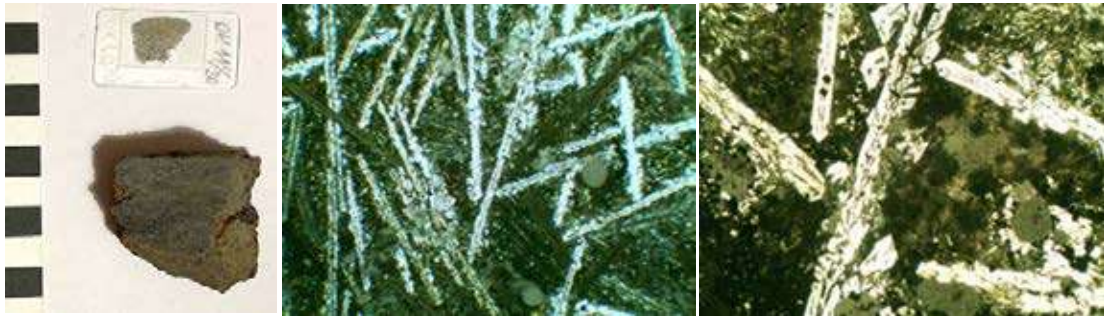


Fig. 57 a) Slag hand specimen # Ok11/22; photomicrographs: b). X 40 xpl; c). X100 ppl.

Ok-11/22 sample is made of chain olivine (fayalite) crystals. The mentioned shape of olivine according to K. Donaldson (1976) indicates to low cooling rate of the slag (40°C/per hour); at the top margin of the photomicrograph (c) – dendrites of magnetite and oval shaped copper inclusions (grey smooth mass).

(b)# D-22/22 Massive, homogenous slag. Copper impregnations are seen with naked eye.



Fig. 58 a) Slag hand specimen # Dog22/22; photomicrographs: b). X 40 xpl; c). X100 ppl.

D-22/22 is almost similar to Ok-11/22 slag sample. Chain olivine (fayalite) crystals and magnetite dendrites are better-developed here (green color in the first photomicrograph centre); (c) on the right white color indicates copper.

The results of slags petrography analysis

The microstructures of the investigated slags show two phases of crystallization: (1) for the massive slag cakes, especially for their central and bottom parts, the crystalline microstructure is illustrative/common. It is represented by the aggregates of needle-shaped and chain olivine (fayalite) crystals, radial crystals of clinopyroxene and magnetite (from fine dendrites to coarse polyhedral aggregates) along with impregnations/prills of copper sulfides and metallic copper. (2) the second phase of melting is represented by a hypocrySTALLINE to semicrystalline rich in manganese and iron silicate mass; it is composed of quartz crystals of various sizes, magnetite grains and rare metal inclusions, mostly oxidized to copper oxides, carbonates or chlorides. This phase is common for tap slags and small-size, light and highly porous slags.

Thus, as a result of the petrographic study of the slags collected from the Lechkhumi-Kvemo Svaneti Late Bronze Age metal smelting sites, two phases of smelting were identified: (1) crystalline phase and (2) vitreous/glassy. As a rule, in contrast to the glassy phase, inclusions of copper sulfides or metallic copper are common in the crystalline phase (Fig. 60 b).

Slag typology is also related to the cooling rate of the melt in the crucible. Naturally, large volume slags usually indicate slow cooling, while small volume slags indicate the opposite. The cooling rate of the melt can be roughly estimated from the change in olivine crystal habitus/morphology (Donaldson 1976). For example, the presence of prismatic olivines in massive slags indicates a slow cooling rate in $-0-5^{\circ}\text{C}/\text{h}$; The cooling rate of funnel-shaped and branched olivine melt is from 7°C to 15°C per hour; Chaotic and parallel oriented olivines are a marker of high melt cooling rate and correspond to $-40-80^{\circ}\text{C}/\text{h}$; And lattice, platy and feather olivine dendrites in the melt confirm that its cooling rate is less than 1500°C (Fig. 59).

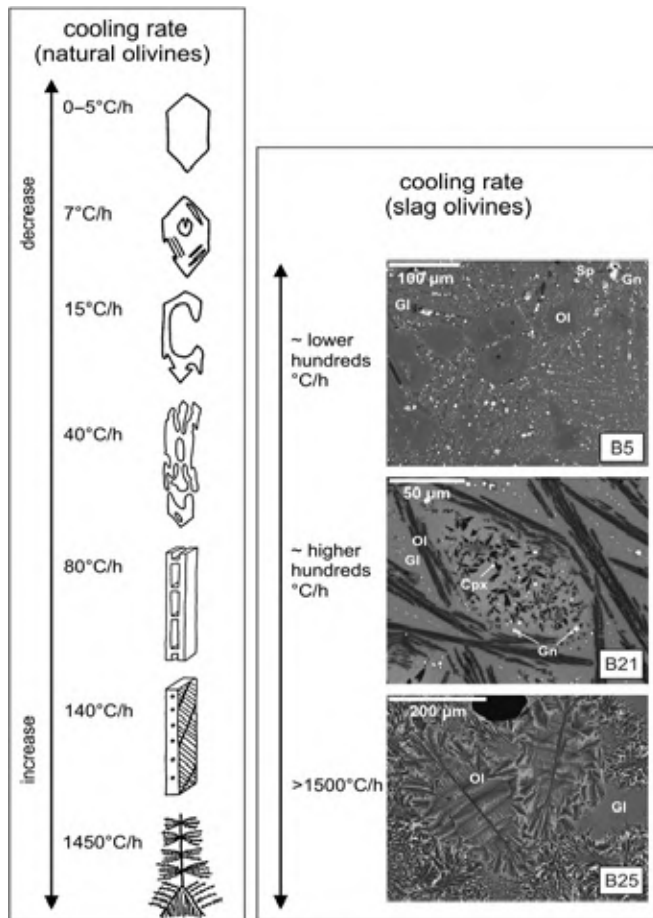


Fig. 59. Change in shape of olivine (forsterite) crystals in cooling rate experiments on basalt melt (Donaldson 1976), compared to fayalite shapes in slag from the Bohutín archaeological site (Czech Republic). Photographs taken by scanning electron microscope (SEM). Abbreviations: Ol, olivine; Gl, glass; Gn, galena; Sp, sphalerite; Cpx, clinopyroxene. (V. Ettler et al 2009).

The different shapes of fayalite crystals in the composition of slag at the Lechkhumi smelting sites correspond to different cooling rates. According to thin sections descriptions, it can be seen that in the massive slags there are mostly needle-like crystals of olivine (fayalite) with elongated and chaotically oriented morphology and chain crystals with cooling rate 40-80°C per hour (fig.55-58); relatively rare is the melt consisting of lattice olivine crystals, which was observed in tap slags. The melt of such morphology crystals loses temperature (cools faster) by 90-140°C per hour. It should also be noted that the size of olivine crystals in the lower parts of the massive slags is somewhat larger than the sizes in the upper parts and reaches 200-300 microns (0.2-0.3 mm), which is visible even to the naked eye (Fig. 60).

According to the study by Donaldson (1976), based on the identification of fayalite crystals, it appears that in Lechkhumi the Late Bronze Age massive slags (cakes) cooled at a rate of 40-80°C per hour, this means that the cooling of massive copper slag took an average of 24 hours, and the cooling of tap slags took about 10-12 hours.

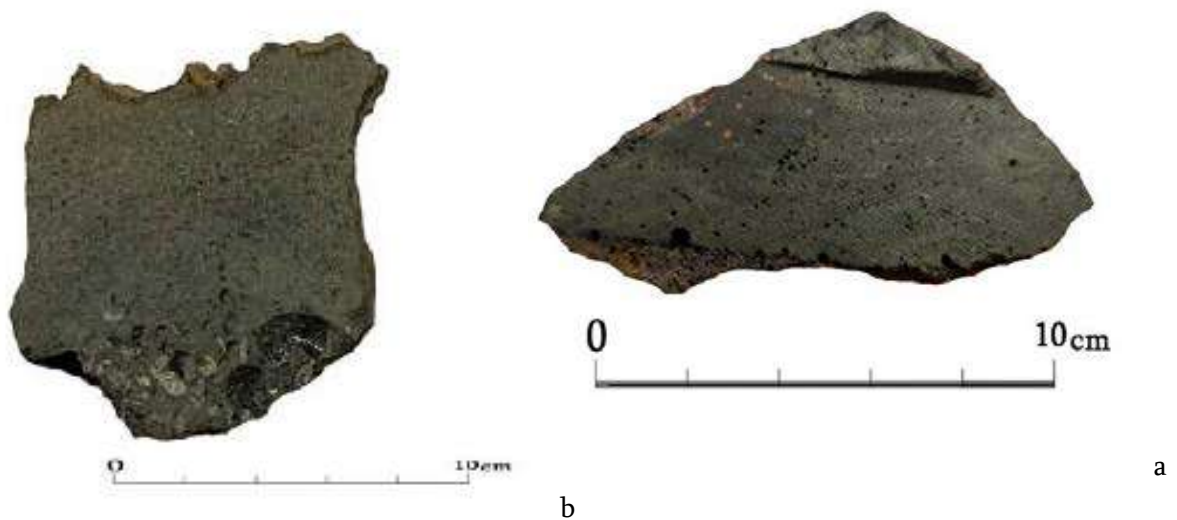


Fig. 60. Visible to naked eye fayalite crystals and copper inclusions/prills in massive slag found in the Dogurashi region; a).#D 6/20; b). #D 22/22

The vast majority of the studied slags are completely melted, such slags contain almost no rock inclusions. However, there are some that are not fully melted/liquefied and contain quartz inclusions (Fig. 61). Several opinions have been expressed at different times about the presence of quartz inclusions in slags. According to one, quartz was deliberately added to the melt to harden the slag and make it easier to break (Rothenberg & Blanco-Freijeiro 1981).

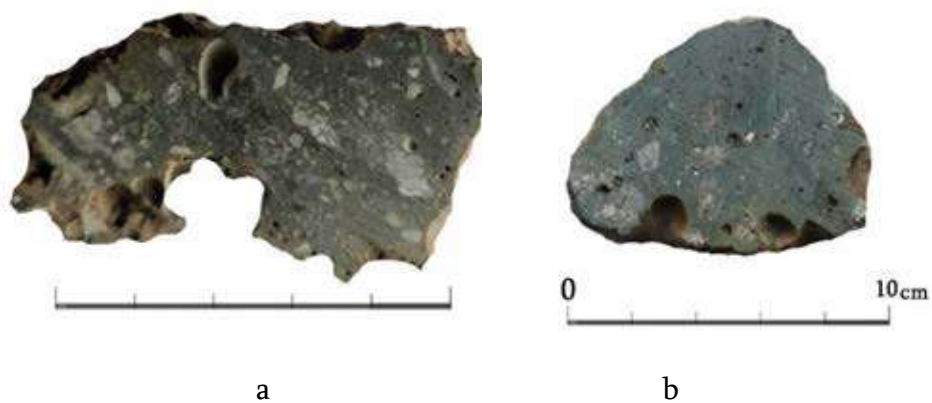


Fig. 61. Quartz inclusions in slags, Okureshi smelting sites; a).Ok11/20; b). Ok12/20.

Later R. Tylecote supposed that the quartz was added to the melt at the final stages of smelting to thicken it and accordingly allowing the slag to be easily removed/extracted from the furnace (Tylecote, 1987). According to P. Craddock, quartz does not react with the melt and therefore it was added at the end of the process, because at this time the slag cools faster

and becomes harder (Craddock, 2013). A. Hauptmann explains that the dissolved quartz inclusions in the slag must be remnants/restite of unmolten ore-bearing rock (Hauptmann, 2000).

Apparently, the quartz inclusions in the slags from the study area are fragments of ore-bearing rocks as most of the ores in the Lechkhumi area are associated with quartz veins.

As a result of the typological study of the artifacts found in 2013-2022, the presence of three main slag types at the Late Bronze-Early Iron Age copper smelting sites has been established: (1) massive (slag cake), (2) tap and (3) flat slags. It is regarded that these types of slag are the products of different phases of metal smelting, and sand slag (which is found as thick layers/heaps at metal smelting sites) is the result of massive and tap slags processing (Addis A., 2012).

The results of typological and petrographic studies are in correlation and exhibit the differentiation of slags. At this stage, two phases of metal smelting were identified at the copper smelting sites of Mountain region of Colchis, with following final products: (1) massive slag cakes and (2) light, porous tap slags. As for flat slags, their presence is determined only by the comparative-typological method as at this stage petrography and chemistry of these slags haven't been studied so far. It is planned to study them in the future, after the expansion of the excavations. We suppose that in the areas where flat slags are present, double stage smelting took place – preliminary roasting and smelting (D'Amico et al., 1998). During the metallurgical process, the metal was completely removed from the flat slags and they were recycled as flux (Haubner R., et al., 2019).

The mineralized rocks petrography

Sample # D672/22' – Brecciated, finegrained quartz sandstone, fractures are filled by oxidized ore minerals (fig. 62 a).

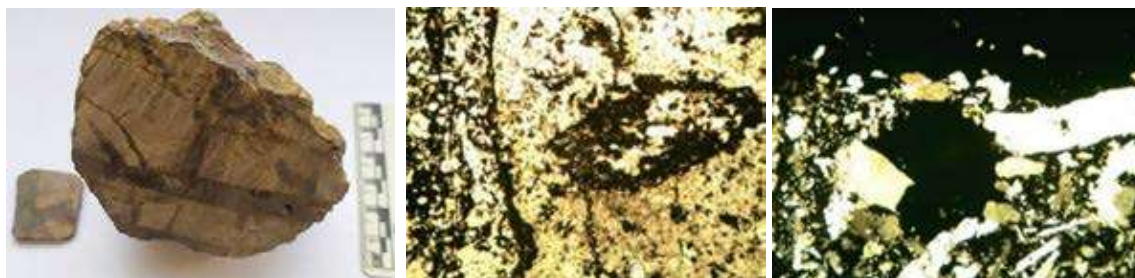


Fig. 62 a) Dog672/22'

b) X25 ppl

c) X25ppl

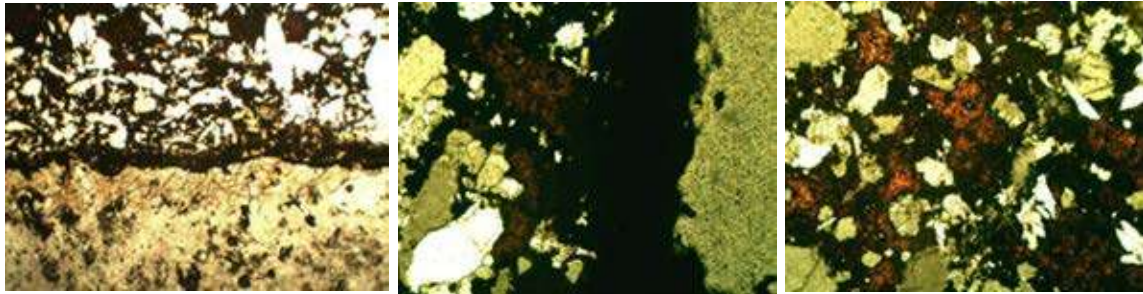


Fig. 62 d) X40 ppl e) X100 xpl f) X100 xpl

The rock is strongly silicified and occupies about 60 % of the thin section. In the rest of the area sulfide minerals are developed, part of them is limonitized (rusty areas – fig. 62 f). Contact zone of bedrock and sulfide vein is seen on photomicrograph (fig. 62 d).

Sample #D43/17 – Vein rock from the contact zone (Fig. 63 a).



Fig. 63 a) D43/17 b) X25 ppl c) X25xpl

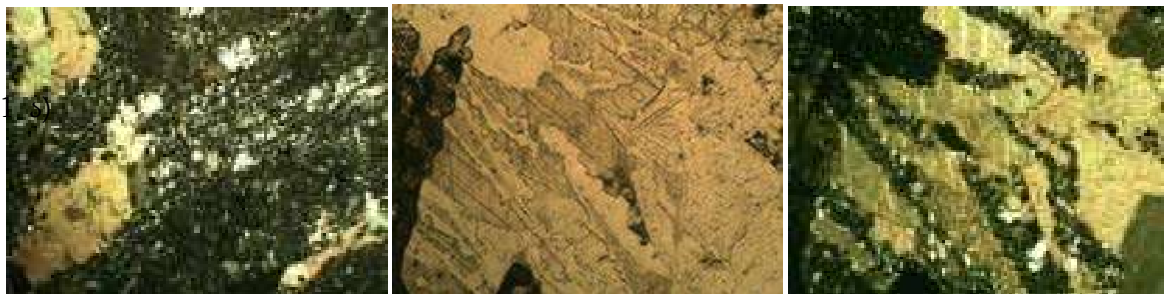


Fig. 63 d) X40 xpl e) X100 xpl f) X100 xpl

The rock comprises mostly calcite (pinkish-greenish) and quartz (grey and white); fibrous quartz veinlets/stringers are present as well (fig. 63 c and d). They cross-cut calcites. Generally, such vein minerals comprise abundant ore minerals. This sample lacks such minerals.

Sample #D28/17 – Greenish mineralized and silicified rock (Fig. 64 a).



Fig. 64 a) D28/17

b) X25 ppl

c) X25xpl

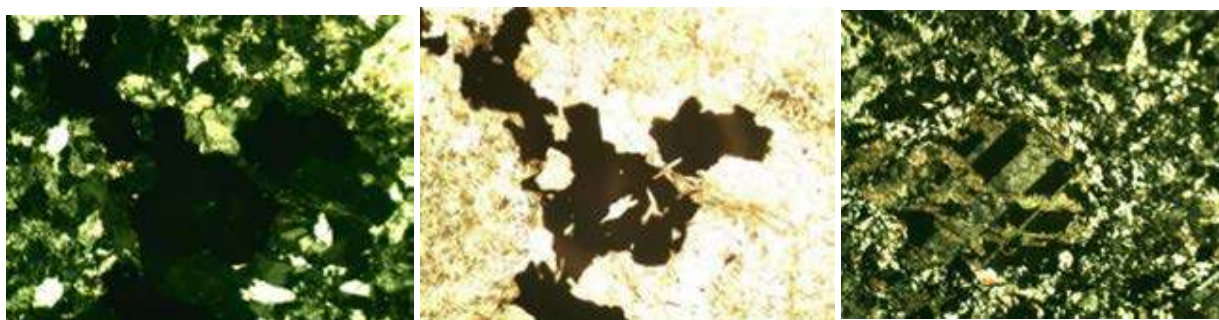


Fig. 64 d) X100 xpl

e) X100 ppl

f) X100 xpl

Strongly altered porphyry rock, plagioclase phenocrysts are nearly altered to clay, where minerals of epidote-zoisite group (pale pink) are observed. Ore minerals fully invade the rock and form accumulations/aggregates (black minerals). Fine-grained quartz (about 70%) segregations are observed in the thin section.

Sample #D45'/18 – Dark grey strongly mineralized rock with quartz veins (fig. 65 a).



Fig. 65 a) D45'/18

b) X25 ppl

c) X25xpl

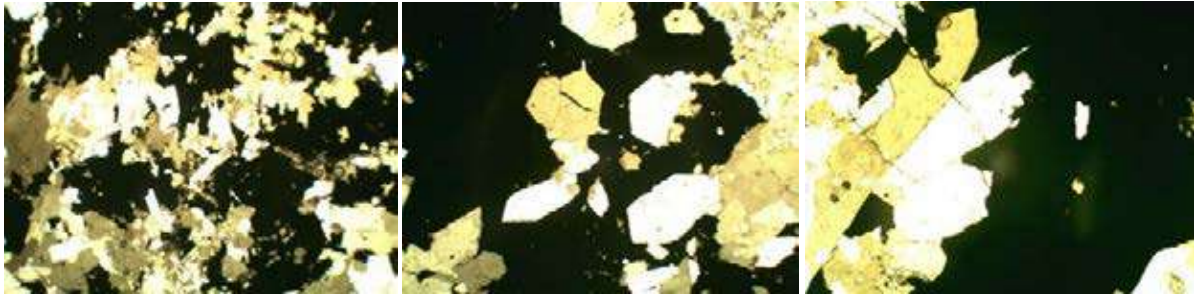


Fig. 65

d) X40 xpl

e) X100 xpl

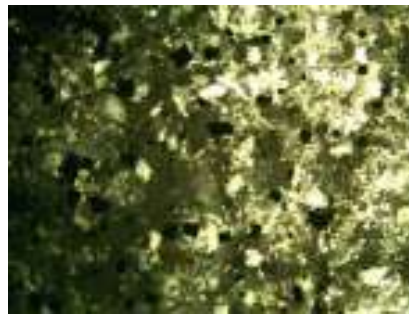
f) X100 xpl

The 50% of the thin section area consists of two generation, euhedral (pyramidal white crystals) and microcrystalline quartz. The second half of the thin section is occupied by galena (dark grey, fig. 64 c), chalcopyrite and pyrrhotite.

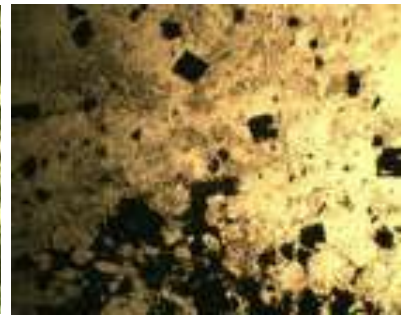
Sample #D46/17 – Finegrained, oxidized rock (fig. 66 a)



Fig. 66 D46/17



b) X25 ppl



c) X25xpl

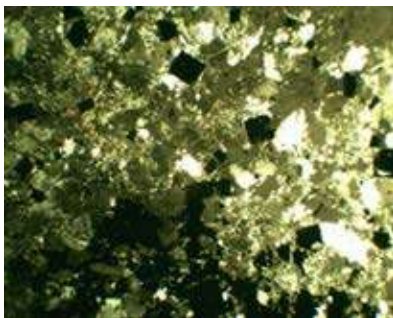
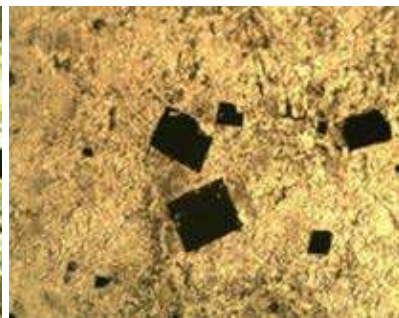
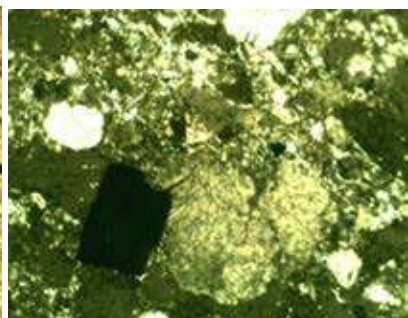


Fig. 66 d) X40 xpl



e) X100 ppl



f) X100 xpl

Intensely altered quartz sandstone, pyritized. Pyrite forms accumulations (fig. 66 g) in some places. It is also present as single cubic crystals (black minerals, isotropic) (fig. 66 b, e, f).

Sample #Op18/20 – Greenish porphyry rock with ore minerals inclusions and white veins (fig. 67 a).

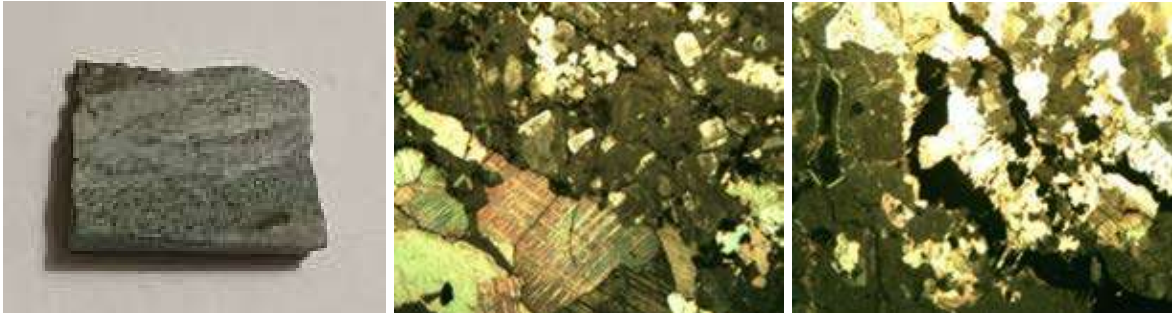


Fig. 67 a) Op18/20 b) X25 xpl c) X25ppl

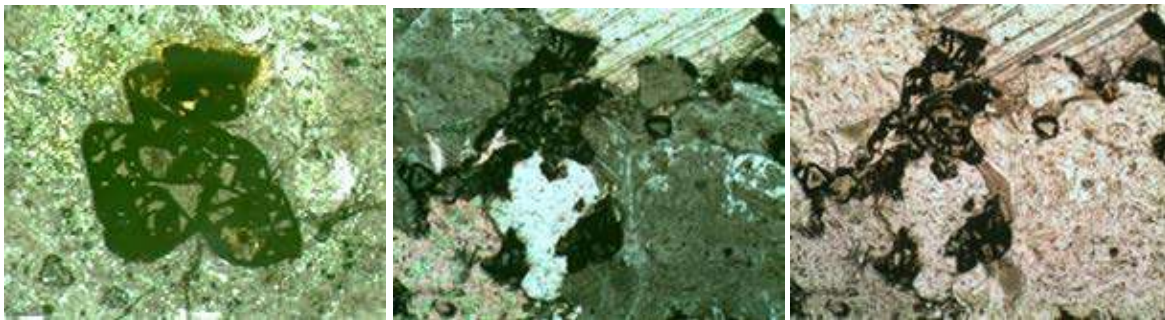


Fig. 67 d) X40 ppl e) X100 xpl f) X100 ppl

Texture anhedral (allotriomorphic), host/bed rock, completely altered to chlorite, quartz veins are observed (right corner – fig. 67 c) and coarse crystals of calcite (pink crystal with lattice, fig 67 b, e and f – top right corner). As for sulfides they are in some places arranged alongside and parallel to the quartz veins (fig. 67 d, e, f-dark accumulations with angular inclusions).

Sample #Op28/20 – Porphyry rock with metal inclusions, part of them is oxidized (fig. 68 a).

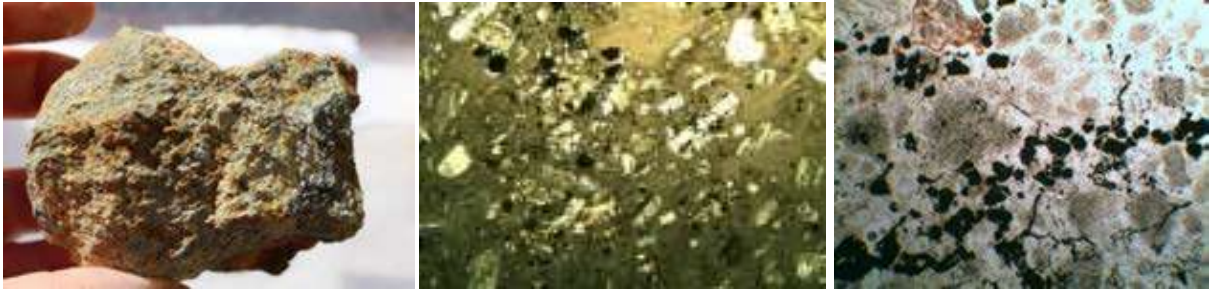


Fig. 68 a) Op18/20

b) X25 xpl

c) X40ppl



fig. 68 d) X40 ppl

e) X100 xpl

f) X100 ppl

Bedrock has still preserved porphyry structure with zonal plagioclase phenocrysts and common polysynthetic twinning are strongly broken in the strongly altered groundmass, where globular grains (black) of ore minerals and hematite formation is observed after initial, unidentified rock minerals.

Sample #Op62/20 – Pale porphyry rock, with sulfides imprignations (fig.69 a).



Fig. 69 a)Op62/20

b) X25 xpl

c) X40ppl

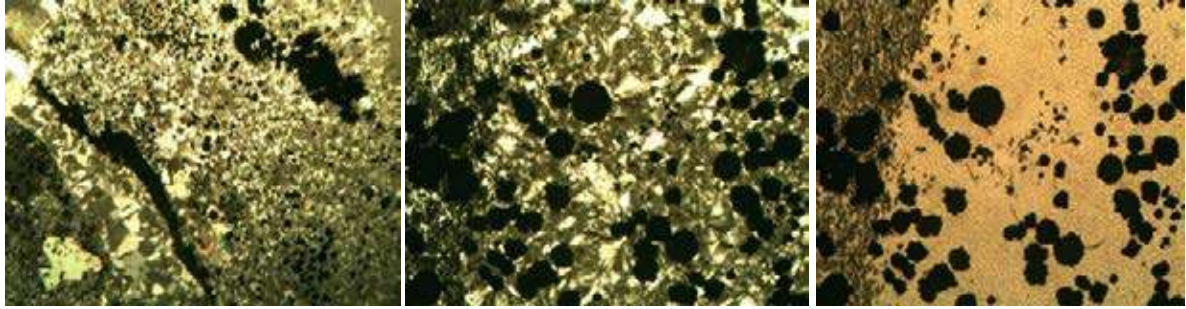


Fig. 69 d) X40 ppl

e) X100 xpl

f) X100 ppl

sample Op62/20 is similar to sample Op28/20 rock, but here rock building initial minerals are replaced totally by quartz and calcite (fig. 69 d - bottom part). The same type mineralization is developed here as well. Along with abundant sulfide globules, parallel to the quartz vein stringers/veinlets (fig. 69 d) and ore rim is present here as well (fig. 69 c).

Sample # Op672/22' – White rock with sulfides inclusions (Fig. 70 a).

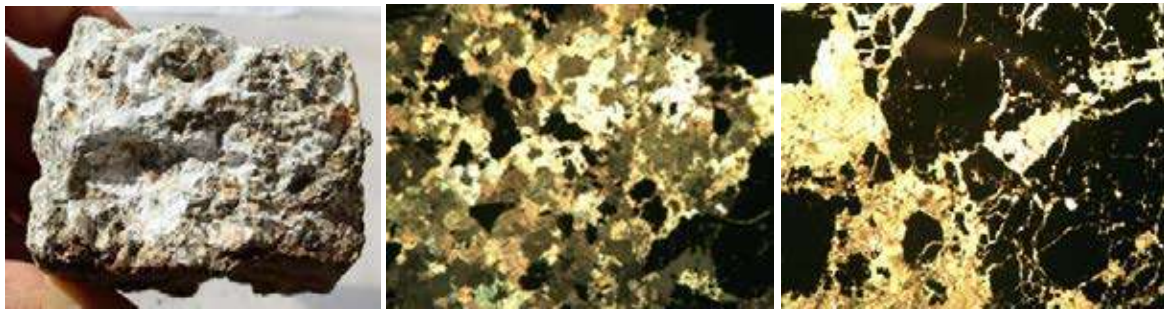


Fig. 70 a) Op672/22'

b) X25 xpl

c) X25 ppl

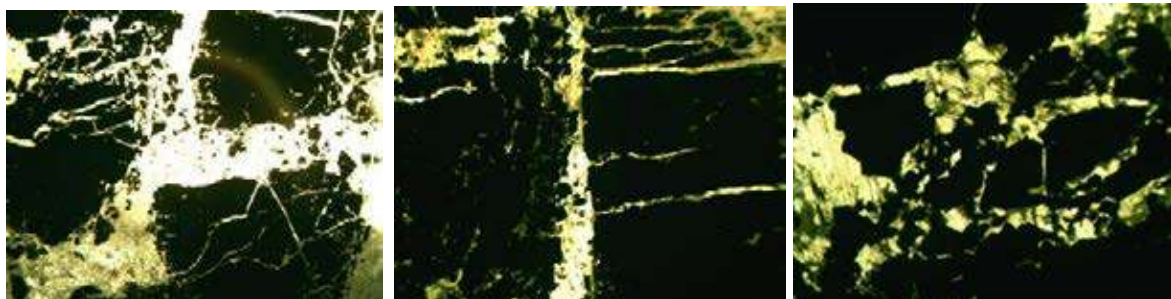


Fig. 70 d) X40 xpl

e) X100 xpl

f) X100 ppl

The isotropic groundmass represented by ore minerals in the photomicrograph occupies 80% of the thin section total area and is brecciated. Ore minerals are placed between quartz (white) and calcite (pink). In contrast to sample #Op18/2 the rock is intensely brecciated.

Sample #Ts(m)-2022 – Massive sulfide ore preserved at Tsageri museum of local lore. The sample originates from Rtskhmeluri environs (Fig. 71 a)



Fig. 71 a) Ts (m)2022

b) X25 xpl

c) X25ppl

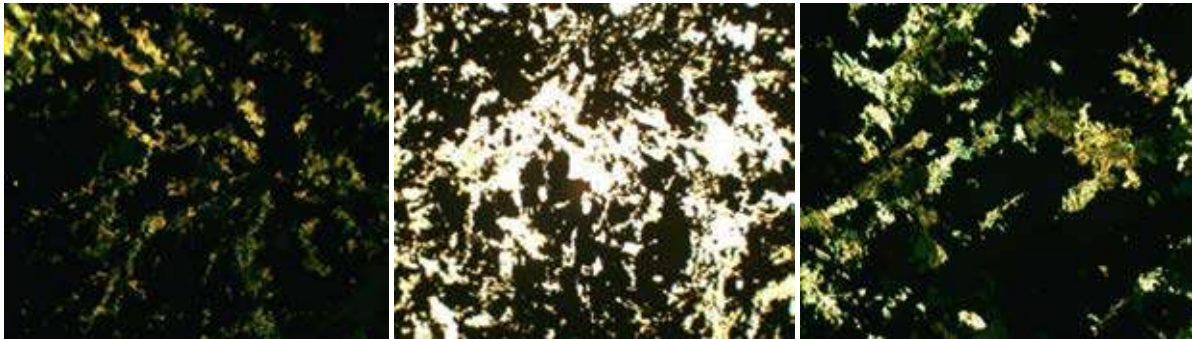


Fig. 71 d) X40 xpl

e) X100 ppl

f) X100 xpl

5% of thin section total area is occupied by uneven and corroded pyrite segregations. Pyrrhotite is developed everywhere in the rock, in some places as single grains. In the interstitial areas between pyrrhotite grains uneven aggregates of isomorphic sphalerite and galena are developed. Galena and sphalerite are in equal amounts and occupy 30% of the thin section total area.

The rock petrography study results

Mineralogical study of ore-bearing samples revealed that ores consist of pyrite, pyrrhotite, sphalerite, galena and chalcopryrite. Vein minerals are mostly quartz and calcite. Secondary minerals are represented by iron hydroxide, and quartz occurs mainly by fine grains. On the base of structural interrelations of minerals following succession was established: pyrite, quartz, pyrrhotite, sphalerite, galena, chalcopryrite, calcite.

2. 3. Radiocarbon (C14) dating/analysis

Radiocarbon analyzes were carried out at the Art and History Laboratory, University of Oxford, United Kingdom. The charcoals extracted from the slag were processed using the OxCal radiocarbon calibration program (Fig. 72) and 5 new dates were obtained for the following archaeometallurgical objects:

Site: Dogurashi II - 42 40'40"N 42 47'34.20" E

(6) OxA-41668 RC-18-01, charcoal, chestnut (*Castanea*) $\delta^{13}C=-24.09$ 2839 \pm 16 BP.
Date: 1050-926 BC (probability/precision 95,4%)

(7) OxA-41669 RC-18-2, charcoal, chestnut (*Castanea*) $\delta^{13}C=-25.82$ 2946 \pm Date 16 BP.
: 1221-1109 BC (probability/precision 88,9%)

(8) OxA-41670 RC-18-3, charcoal, chestnut (*Castanea*) $\delta^{13}C=-25.38$ 2850 \pm 16 BP.
Date: 1056-928 BC (probability/precision 91,4%)

Site: Dogurashi I, 42 40'40.90"N 42 47'5.50"E

(9) OxA-41671 RC-18-04, charcoal, chestnut (*Castanea*)/Alder (*Alnus*) $\delta^{13}C=-25.77$
2929 \pm 16 BP
Date: 1211-1052 cal BC (probability/precision 95,4%)

Site: Gverdistavi I, 42 39'31.80"N 43 49'6.90"E

(10) OxA-41622 RC-18-05, charcoal, chestnut (*Castanea*) $\delta^{13}C=-26.45$ 2839 \pm 19 BP.
Date: 1055 - 920 cal BC (probability/precision 95,4%).

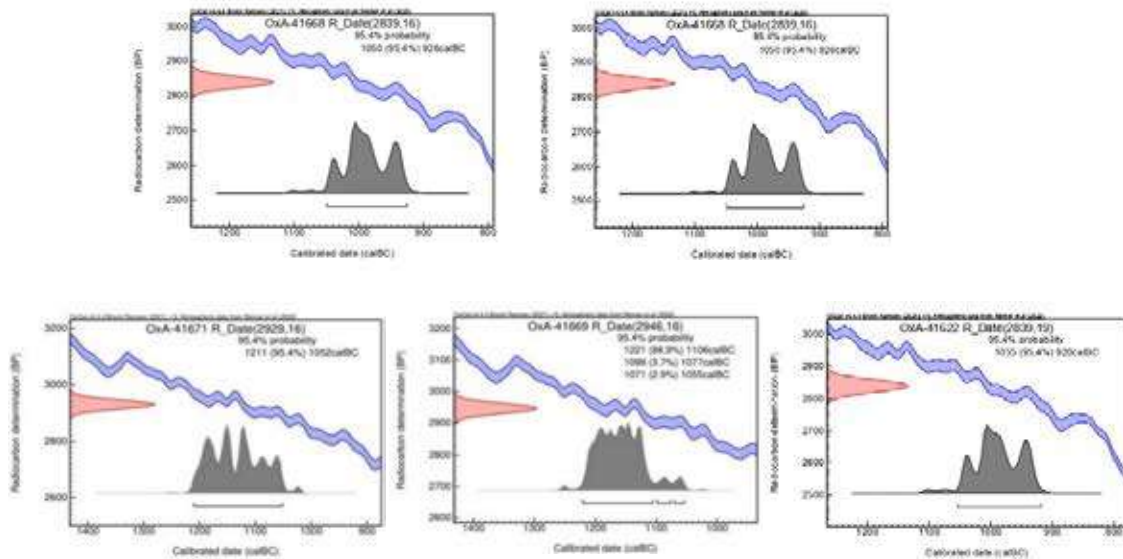


Fig. 72. Charcoal samples radiocarbon dating diagrams. Archaeometallurgical sites Dogurashi I and II, and Gverdistavi.

Overall, the three dates accepted for Dogurashi II include the period of XIII-X centuries BC: for Dogurashi I – XII-XIcenturies BC, and for Gverdistavi (Lukhvano) - X-IX centuries BC.

2.4. X-ray fluorescence spectrometry (XRF)

In total 47 samples, (20 ore samples, 25 slag samples (massive and light), 1 artefact and 1 pure ingot) collected from the discovered archaeometallurgical sites during 2014-2021 were analyzed at the TSU Janelidze Institute of Geology Laboratory using energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer (tables ## 1 and 2).

Table #1 The results of XRF analyses of slags

Nº	Location	Type of sample and description	Symbol	Al %	Fe %	Ni %	Cu %	Zn %	As %	Mo %	Sn %	Sb %	Pb %
1	Okureshi 1	slag, dense	Ok639/21	3.92	20.24	0.04	0.35	0.18	0.01	0.01	tr	0.01	0.05
2	Okureshi 2	slag, dense	Ok14/20	3.44	22.17	0.03	0.62	0.04	0.02	0.01	tr	0.01	0.09
3	Okureshi 2	slag, dense	Ok641/21	3.54	20.46	0.03	0.36	0.09	0.01	0.02	tr	0.01	0.03
4	Chikelashi	slag, dense	Ch10'/20	4.40	15.80	0.03	0.89	0.59	0.01	0.03	tr	0.03	0.04
5	Chikelashi	slag, dense	Ch10/20	3.51	20.83	0.04	0.58	0.70	0.01	0.03	tr	0.04	0.02
6	Dogurashi 2	slag, massive	Dog3/20	3.34	22.50	0.01	0.49	1.75	0.01	0.01	tr	0.01	0.10
7	Dogurashi 2	slag, dense	Dog14/19	2.27	29.64	0.03	0.70	8.39	0.01	tr	tr	0.01	0.58
8	Dogurashi 2	slag, dense	Dog11/19	2.52	22.06	0.03	0.38	0.48	0.01	0.03	tr	0.01	0.03
9	Dogurashi 1	slag, malachite	Dog2/14	2.56	17.06	0.02	1.07	0.37	0.01	0.01	tr	0.02	0.06
10	Dogurashi 1	slag, dense	Dog6/19	1.71	20.31	0.03	0.40	0.37	tr	0.01	tr	tr	0.06
11	Dogurashi 1	slag	Dog2'/14	2.56	17.06	0.02	1.07	0.37	0.01	0.01	tr	0.02	0.06
12	Ladzgeria	slag, tap	laz12/14	4.89	43.91	tr	tr	0.02	tr	tr	tr	tr	0.01
13	letsperi 3	slag, tap	let382/19	3.48	22.64	0.05	0.52	0.57	0.01	0.02	tr	0.02	0.02
14	letsperi 3	slag, dense	let382'/19	3.34	23.44	0.03	0.50	0.07	0.01	0.01	tr	0.01	0.02
15	Dogurashi 2	poor ingot	Dog1/19	4.65	14.86	0.03	0.13	0.81	0.01	tr	tr	0.01	0.07
16	Gabonalia	slag, dense	Ga1/14	6.59	17.15	0.01	1.00	0.91	0.01	tr	tr	tr	0.03
17	Shavbinula	slag, dense	Sh649/21	3.41	18.09	0.03	0.44	0.77	0.01	0.02	tr	0.03	0.01
18	Okureshi 1	slag, porous	Ok11'/20	5.08	31.91	0.03	0.64	0.05	0.04	0.01	tr	0.01	0.11
19	Okureshi 2	slag, porous	Ok16/20	4.37	20.94	0.03	0.66	0.50	0.02	0.01	tr	0.01	0.02
20	Chikelashi	slag, porous	Ch367/19	3.22	18.22	0.02	1.14	0.26	0.02	0.06	tr	0.05	0.04
21	Chikelashi	slag, porous	Ch6/19	3.49	16.00	0.05	1.31	1.51	0.01	0.01	tr	0.02	0.04
22	Lukhvano	slag, porous	Lu391/18	3.96	21.03	0.03	0.30	0.69	0.01	0.01	tr	0.01	0.05
23	Gabonalia	slag, porous	Ga362/19	3.14	21.74	0.03	0.36	0.38	0.01	tr	tr	tr	0.01
24	letsperi 3	slag, light	let382''/19	4.78	27.07	0.03	0.40	0.10	0.02	tr	tr	0.01	tr
25	Gvimbrala	slag, porous	Gv652/21	1.25	43.02	0.01	0.45	0.63	0.01	tr	tr	0.01	0.01
26	Dogurashi 2	slag, porous	Dog3'/20	2.75	24.45	0.02	4.10	0.33	0.04	0.01	tr	0.02	0.05
27	Opitara	artefact	Op 543/21	1.45	2.87	0.07	77.19	0.26	0.36	tr	tr	tr	0.18

Table #2 The results of XRF analyses of mineralized rock

No	Location	Type of sample and description	Symbol	Al %	Fe %	Ni %	Cu %	Zn %	As %	Mo %	Sn %	Sb %	Pb %
28	Opitra	mineralized rock	Op28/20	5.01	19.06	0.04	0.01	0.01	tr	tr	tr	tr	0.01
29	Opitra	mineralized rock	Op62/18	0.19	25.64	0.03	4.05	0.03	tr	tr	tr	tr	tr
30	Opitra	mineralized rock	Op63/18	0.47	25.82	0.04	4.45	0.02	0.01	tr	tr	tr	0.02
31	Opitra	mineralized rock	Op63'/18	0.34	24.11	0.02	2.53	0.02	tr	tr	tr	tr	0.01
32	Opitra	mineralized rock	Op18/20	1.38	26.35	0.02	0.63	0.02	0.27	0.01	tr	tr	0.03
33	Dogurashi-nargvevi	mineralized rock	Dog 45/18	1.95	6.51	0.03	0.10	tr	0.06	tr	tr	tr	0.01
34	Dogurashi-nargvevi	mineralized rock	Dog 45'/18	4.65	13.20	0.09	4.43	18.93	0.02	tr	tr	tr	10.46
35	Dogurashi-nargvevi	mineralized rock	Dog 45''/18	6.94	16.83	0.10	4.58	15.77	0.05	tr	tr	0.01	13.96
36	Dogurashi-nargvevi	mineralized rock	Dog 45'''/18	5.37	3.37	0.00	tr	0.17	tr	tr	tr	tr	0.08
37	Dogurashi	mineralized rock	Dog 61/18	7.57	0.73	0.01	tr	0.06	tr	tr	tr	tr	tr
38	Dogurashi	mineralized rock	Dog 30/17	3.73	44.44	0.05	0.17	0.03	0.02	tr	tr	tr	0.04
39	Dogurashi-nargvevi	mineralized rock	Dog 46/18	7.71	7.40	0.02	0.01	0.01	tr	tr	tr	tr	tr
40	Dogurashi-nargvevi	mineralized rock	Dog 21'/20	0.61	17.66	0.09	3.00	8.29	0.09	tr	0.01	0.03	23.92
41	Dogurashi-nargvevi	mineralized rock	Dog 20/20	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
42	Dogurashi	mineralized rock	Dog 61/18	7.57	0.73	0.01	tr	0.06	tr	tr	tr	tr	tr
43	Dogurashi	mineralized rock	Dog 60/18	6.85	14.09	0.03	0.03	tr	tr	tr	tr	tr	0.01
44	Rtskhmeluri	mineralized rock	Rts1/19	0.29	30.06	0.01	0.03	0.03	1.20	tr	tr	0.02	0.07
45	Gabonalia-zubi	mineralized rock	Gab3/14	10.70	4.26	0.00	tr	0.01	tr	tr	tr	tr	tr
46	Mokaulis gele	mineralized rock	Mok 644/21	8.00	4.35	0.03	0.01	tr	tr	tr	tr	tr	tr
47	Mokaulis gele	mineralized rock	Mok 643/21	3.19	5.31	0.01	0.01	0.01	0.05	tr	tr	0.01	0.01


2.5. Atomic absorption analysis (AAS)

Atomic absorption analysis performed on 52 samples of slag and mineralized rocks in the chemical laboratory of Caucasus Mining Group LLC (CMG) determined noble (gold-Au, silver-Ag) and non-ferrous/base metals (copper-Cu, lead-Pb, zinc-Zn, iron-Fe) grades.

The obtained data revealed that none of the samples comprise gold. High grades of copper (0.14-1.06%), zinc (0.06-1.13%), lead (0.02-11.8%), and iron (130-174 kg/t) were detected in the prehistoric slag samples. Exceptionally high grades of copper (Cu - 3,2-4.6 kg/t) were

detected in mineralized rocks from Opitara. Samples collected directly in the mines are characterized by fairly high grades of silver (1,25 kg/t), lead (73 kg/t) and zinc (18,4 kg/t). As expected, iron grades in the oxidized concretion obtained from Korvashi (Kor29/20) are fairly high- 294 kg/t; Iron grades are higher than -262 kg/t in the medieval period slag found in Opitara (Op30/20) as well (Tables #3 and #4).

Table #3

 CMG 800 55 6000000000000000		Customer name GNM Date of sampling Date		BOX-5204 Ltd. Caucasus Mining Group 28.09.2020 19.10.2020								
Method of analysis Tool Analytical element განმარტების აღმონ. ზღვარი Weight (gr.)		Au-AR AAS Au ppm 20	Au-AR AAS Au,Ch. ppm 20	Ag-AR AAS Ag ppm 2	Ag-AR AAS Ag,Ch. ppm 2	Cu-AR AAS Cu % 0,01	Cu-AR AAS Cu,Ch. % 0,01	Pb-AR AAS Pb % 0,01	Pb-AR AAS Pb,Ch. % 0,01	Zn-AR AAS Zn % 0,01	Zn-AR AAS Zn,Ch. % 0,01	Fe-AR AAS Fe % 0,01
Reference QC		G915-2 4.94		GBM907-13 13.00		GBM907-13 1.69		GBM907-13 0.41		GBM907-13 6.63		GBM307-14
Target Range-		L.Bound 4,54				1,57		0,37		6,05		33,90
		U.Bound 5,34				1,81		0,45		7,21		
Reference QC		4,87		15,32		1,67		0,42		6,20		32,00
BLANK		0,01				0,01		0,01		0,01		
1	Ok-12/20 -slag (1)	0,14		7,52		0,90		0,04		0,50		17,46
2	Ok-11/20-slag (2)	0,15		3,40		0,43		0,04		0,10		13,80
3	Dog-6/20-slag (1)	0,12		3,35		0,44		0,05		0,39		16,66
4	Dog-3/20-slag (2)	0,14		7,08		0,89		0,14		0,75		14,44
5	Ch-10/20-slag	0,12	0,10	5,58	5,29	0,66	0,66	0,05	0,04	0,82	0,78	12,56
6	Op-18/20-ore from adit	0,01		2,75		0,46		0,01		0,01		4,58
7	Op-28/20-ore from adit	0,05		125,37		0,32		7,30		1,84		3,87
8	Kor-29/20-concretion	0,12		3,16		0,01		0,03		0,01		29,40
9	Dog-7/20-rock	0,02		1,75		0,01		0,01		0,01		2,95
10	Nar-21/20 ore	0,11	0,10	2,00	2,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	10,80
11	Op-30/20-medival slag	0,13		3,68		0,01		0,04		0,02		26,20
12	SV-376/19-ore	0,02		1,64		0,01		0,01		0,01		2,11

Analysis method		Ag-AR	Cu-AR	Pb-AR	Zn-AR	Fe-AR
Device		AAS	AAS	AAS	AAS	AAS
Element analyzed		Ag	Cu	Pb	Zn	Fe
Detected unit		ppm	%	%	%	%
Sample ID						
D2-800/22	Slag cake	6.90	0.71	0.23	0.73	32.15
D2-801/22	Tap slag	25.37	1.06	0.91	0.74	16.34
D2-802/22	Slag cake	13.19	0.19	11.80	0.83	23.65
D1-803/22	Tap slag	4.63	0.55	0.33	0.57	7.68
D2-13/19	Slag cake	3.00	0.63	0.03	0.22	44.17
D2-4/20	Tap slag	9.67	0.79	0.14	0.38	10.12
D2-3/20	Slag cake	4.12	0.56	0.10	0.38	26.35
D1-11/22	Slag cake	3.46	0.42	0.05	0.19	27.56
D1-5/20	Slag cake	5.05	0.40	0.16	1.13	19.28
D2-12/22	Tap slag	9.00	0.68	0.26	0.32	9.24
D-672/22	Rock	4.29	0.31	0.51	0.26	5.10
D-672/22'	Rock	22.58	0.72	3.90	1.95	11.52
D-672/22''	Rock	7.31	0.34	0.34	0.37	4.67
D-672/22'''	Rock	13.63	1.03	1.05	2.32	7.68
D-20/20	Rock	3.98	0.21	1.09	1.72	9.41
D-28/17	Rock	3.72	0.81	2.02	2.05	4.82
D-804/22	Rock	5.26	0.28	0.75	0.88	6.71
D-45'''/18	Rock	39.37	0.81	2.80	5.49	14.96
D-39/18	Rock	12.91	1.63	0.42	1.22	16.21
D-5/19	Rock	7.13	0.43	1.04	2.08	8.26
D-669/22	Rock	2.47	0.21	2.32	1.56	5.82
Ok1-639/21	Slag cake	3.54	0.27	0.84	0.11	34.13
Ok1-11/20	Tap slag	4.17	0.53	0.07	0.13	14.34
Ok1-805/22	Slag cake	3.00	0.14	0.04	0.17	2145
Ok1-806/22	Tap slag	3.41	0.36	0.06	0.16	8.63
Ok1-639/21	Slag cake	2.63	0.31	0.05	0.11	53.17
Ok2-641/21	Slag cake	3.71	0.61	0.02	0.06	41.12
Ok2-518/20	Tap slag	3.22	0.39	0.04	0.11	16.35
Ok2-12/20	Slag cake	3.31	0.44	0.03	0.27	25.52
Ok2-671/22	Slag cake	3.34	0.42	0.03	0.17	15.28
Ok2-14/20	Slag cake	4.38	0.67	0.02	0.26	19.24
Op-18/20	Rock	4.75	1.85	0.92	0.79	5.96
Op-807/22	Rock	4.65	0.57	1.16	0.81	7.39
Op-808/22	Rock	3.96	1.72	0.61	0.83	6.00
Op-25/17	Rock	5.92	1.61	2.42	1.17	4.12
Op-63/18	Rock	11.64	2.42	3.13	1.11	15.44
Op-28/20	Rock	10.88	3.44	4.05	2.34	8.23
Op-1/17	Rock	2.12	0.92	1.51	5.61	5.89
Op-809/22	Rock	4.37	2.19	2.35	0.86	7.41
Op-62'/18	Rock	3.75	1.59	1.67	0.55	4.79

Table #4

The results of X-ray fluorescence and atomic absorption analyzes of the mineralized rocks indicate that the primary ore consists of copper-zinc- lead -pyrrhotite (Table #1-#4). The results of the same analysis of the slags correlate with those of the mineralized rocks, confirming that Colchian metallurgists used local ore.

2.6. Palynological analysis

Samples for palynological analysis were processed in the Palynological Laboratory of the National Museum of Georgia according to standard protocol (Moore et al. 1991). At the first stage, sediments from slag voids as well as sediments from crucible pores/cracks were boiled in an alkaline solution of 10 % potassium hydroxide to wash out any organic remains and the resulting liquid was centrifuged. Then a heavy, cadmium rich solution was added to extract organic remains by subsequent centrifugation. During this process, the heavy liquid compressed the mineral part even more and caused it to sink to the bottom, while the organic material floated to the surface. Finally, the resulting organic material was broken down for removal by acetolysis. Optical microscopy (microscope Olympus BX 43) was used for the identification, counting and photography of palynomorphs then statistical processing of the results and plotting of diagrams using the program Tilia (Grimm 2011).

It should be emphasized, that analytical data (slags and technical ceramic s fragments) turned out to be useful for other research as, in addition to the plant pollen grains and fern spores, the material contained much other material: types of non-pollen palynomorphs - parenchymal wood cells, phytoliths, starch, fabric fibres, hairs and claws of insects, fungal spores, and so on.

Apart from pollen analysis, charcoal samples for radiocarbon dating were also recovered from the Late Bronze Age copper smelting sites. Ten samples of charcoal from the 2018-2019 excavations were examined at the Oxford University Laboratory (by Dana Challinor) both for the selection of suitable material for radiocarbon dating and to identify the original wood species from which the charcoal (fuel) derived in the Late Bronze Age. Standard procedures were followed for identification, with fragments placed in a sand bath under high magnification. Identification was performed only at the genus level and no attempt was made to separate the species anatomically.

Presented palynological study of artifacts found at a Late Bronze Age metal smelting monument is the first attempt. A similar study has not yet been conducted on any of the archaeometallurgical sites of Georgia. The obtained results will allow us to determine the data on the paleolandscape, climatic conditions, taphonomy and human activities in Late Bronze Age mountainous Colchis (Lechkhumi).

Results of artifacts palynological analysis

(1) **Site Dogurashi I** is located on the southern slope of the western edge of the Lechkhumi ridge, on the left bank of the Tskhenistskali river, at an altitude of 880 meters above sea level (GPS - 42°40'41.09"N; 42°47'5.53"E). Slag sample #Dog5/20.

In the palynological spectrum of the in-slag organic remains, the number of plant arboreal pollen and forest ferns prevails (Fig. 73). Among broad-leaved plants, alder (*Alnus*) and chestnut (*Castanea*) are dominant, beech (*Fagus*) pollen are less common. Pine (*Pinus*), fir (*Abies nordmanniana*) and spruce (*Picea orientalis*) were defined in the group of conifers. Elements of thermolytic flora such as elm (*Zelkova*), lime (*Tilia*), oak (*Quercus*) and nut (*Corylus*) were also found in the spectrum.

Forest fern spores prevail in the group of herbaceous plants. Bracken (*Pteridium aquilinum*) which commonly grows in open areas of the deforested landscape (Page 1986; Seyanzobe et al., 2020) is amongst them. Plantago (Plantago) pollen grains growing on roadsides and paths, near human habitation and on garbage (Behre 1981) are rare. Pollen grains of plantain (*Plantago*) which grows on road and path sides, nearby the human habitation and at rubbish tiops (Behre 1981) are less common.

In the spectra of non-pollen palynomorphs burned and decomposed parenchymal cells of the timber predominate (fig. 74). Incompletely carbonized or formed as a result of pine natural decay pine (*Pinus*) cells were identified. Elm (*Ulmus*) timber cells are rare as well as fungal spores, starch, flax fiber and microscopic remains of insects. The fact that zygospores of freshwater thermophilic algae *Spirogyra* and *Pseudoschizaea* were found in the organic remains of slags and ceramics which is a good indicator of warm climate conditions is noteworthy (Scott 1992; Medeanic, Silva 2010).

(2) **Site Dogurashi II** is located on the southern slope of the western edge of the Lechkhumi ridge, on the left bank of the Tskhenistskali river, at an altitude of 1084 meters above sea level, 5 km east of I in Dogura (GPS 42°40'39.40"N; 42°47'32.70"E). Slag sample #Dog 4/20.

The palynological spectrum of in-slag organic matter is distinguished by the taxonomic and quantitative richness in arboreal plant pollen. Chestnut (*Castanea sativa*) and common alder (*Alnus barbata*) pollen grains are abundant. Pollen grains of lime tree (*Tilia*), common hornbeam (*Carpinus betulus*), oak (*Quercus*), willow (*Salix*) and nut (*Corylus*) were identified as well. The number of conifers in the sample of Dogurashi II is much less than that of Dogurashi I.

Forest fern spores predominate (*Polypodiaceae*) in the palynological spectrum of herbaceous plants, but bracken spores number here fairly exceeds that of at Dogurashi I. This means that there should have been more deforested - open landscapes (meadows) in the mentioned place than at Dogurashi I. In the investigated samples the indicators/markers of humans long-lasting habitation such as pollen grains of cereals (*Cerealia*) and pollen of weeds common for wheat crops goosefoot (*Chenopodium*), knotweed (*Polygonum*) and buttercup (*Ranunculus*) prevail. Pollen grains of ruderal yard plants - plantain (*Plantago*) and absinth (*Artemisia*) were observed. This means that the metallurgical production at Dogurashi II lasted longer than at Dogurashi I. This is also confirmed by the several levels of the smelting workshops recorded in the stratigraphic section during excavations at Dogurashi II (Sulava et al, 2020; Sulava et al, 2020 (a)).

Among the non-palynological remains, parenchymal cells of burnt wood are dominant (Fig. 74). Decomposed cells of pine timber were identified as well. The spectrum contains starch, cereal phytoliths, and fungal spores. Spores of dung-loving fungi (*Cercophora*) were identified up to the genus. Flax fiber and microscopic remains of insects are found in fairly lesser amounts.

(3) Site Dogurashi III is located on the southern slope of the western edge of the Lechkhumi ridge, on the left bank of the Tskhenisskali river, at an altitude of 1000 meters above sea level (GPS 42°40'33.3"N; 42°47'19.9"E). It is located 1 km east of site Dogurashi II. Slag sample #Dog674/22.

The palynological spectrum of the in-slag organic matter residue of Dogurashi III is similar to that of Dogurashi II. The amount of chestnut (*Castanea sativa*) pollen prevails here as well (Fig. 73). Pollen grains of pine (*Pinus*), fir (*Abies*), spruce (*Picea*), alder (*Alnus*), hornbeam (*Carpinus betulus*), oak (*Quercus*), and Holly (*Ilex*) trees were identified.

Herbaceous plants are represented by abundant forest fern spores (fig. 1). Pollen of Umbrellifers (*Apiaceae*), goosefoot (*Chenopodiaceae*), and aster (*Asteraceae*) genus is present as well. Weed pollen grains such as plantain (*Plantago*), absinth (*Artemisia*) and knotweed (*Polygonum*) are well represented in minor amounts.

In the spectra of non-pollen palynomorphs starch including wheat starch is dominant (fig. 74). Cereal phytoliths are well represented. Parenchymal cells of burnt wood as well as remains of insects - naps and claws are abundant. Fungi spores were identified, including mold (*Mucoraceae*), dung-loving fungi (*Sordaria*) and *Chaetomium* spores as well as *Ustilina* (*Ustilina*) fungi spores. The latter grow only on the felled tree timber. Remnants of freshwater algae *Zygnemataceae*, *Dinoflagellata*, *Pseudoschizaea* are present not in small amounts (fig. 2). Flux and cotton fiber are observed in minor amounts.

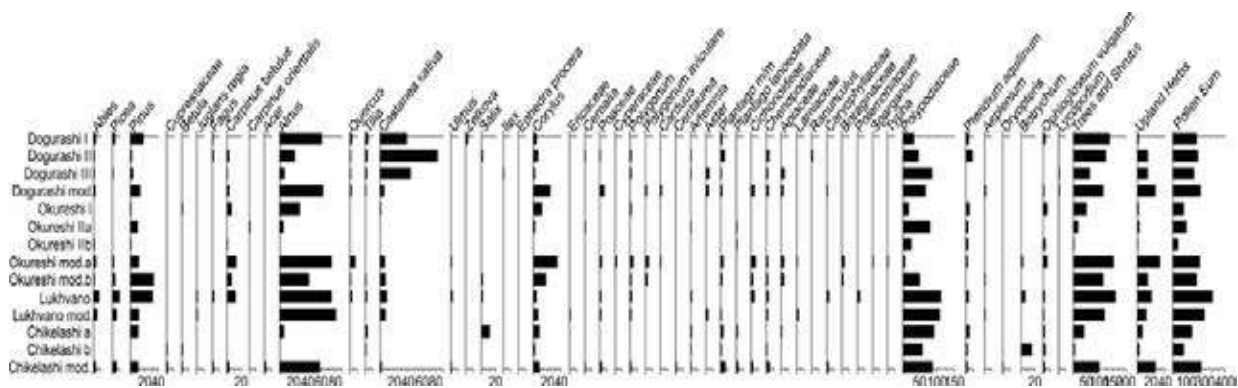


Fig. 73. Quantitative (palynological) diagram of plant pollen found in the debris/ waste of Late Bronze Age of metallurgical production and modern soil in Lechkhumi.

(4) **Site Okureshi I** (Didlodebi) is located on the left bank of the Tskhenistskali river, on the northwestern slope of the Khvamli limestone massif, at an altitude of 1080 m above sea level (GPS 42°31'33.76"N; 42°42'33.23"E). Slag sample # Ok7/20 and Ok670/22.

The palynological spectrum of the in-slag organic remains is not as rich as that of the Dogurashi samples. A total of 6 taxa were determined from arboreal plants (Fig. 73). Alder (*Alnus*) and nut (*Corylus*) pollen dominates. Hornbeam (*Carpinus betulus*) is abundant, chestnut (*Castanea sativa*), pine (*Pinus*) and birch (*Betula*) pollen grains are few.

Herbaceous plants are represented by the undetermined spores of various ferns (Polypodiaceae) as well as by the spores of adder's tongue (*Ophioglossum vulgatum*), bracken (*Pteridium aquilinum*), and other ferns. Pollen grains of knotweed (*Polygonum*) are observed in minor amounts.

Non-pollen palynomorphs are represented by abundant parenchymal cells of burnt wood timber. Decomposed cells of pine are observed as well (fig. 74). Grain starches are abundant among which wheat (*Triticum*) starch was identified up to the genus. Cereals phytoliths, fungal spores and their hyphae were found as well as insects naps and other remains. Microscopic remains of mites are also found less frequently. There are few flax and cotton fibers and zygospores of the freshwater alga Pseudoschizaea.

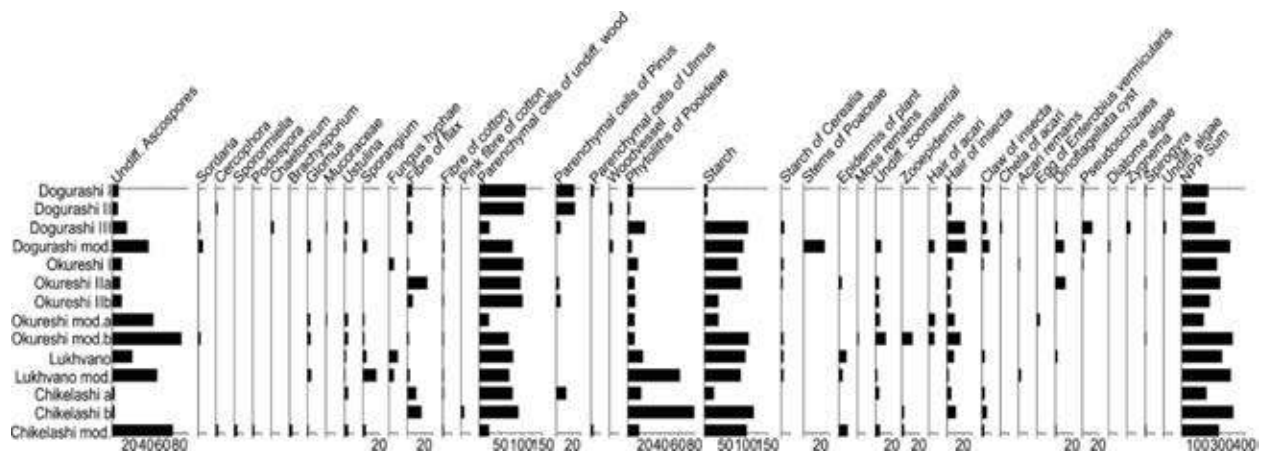


Fig. 42. Quantitative diagram of the non-pollen palynomorphs (NPP) found in the debris/ waste of Late Bronze Age metallurgical production and modern soil in Lechkhumi.

(5) **Site Okureshi II a** (hay meadow lands/Satibebi) is located on the left bank of the Tskhenitskali river, on the northwestern slope of the Khvamli limestone massif, at an altitude of 1155 m above sea level (GPS 42°31'27.14"N; 42°42'37.94"E). It is located ~2 km to the south-east of the metal smelting site Okureshi I. Technical ceramics (crucible) sample # Ok671/22.

The palynological spectrum of technical ceramics organic remains, as well as the slag spectrum of Okureshi I, is not characterized by the richness in palynomorphs. Only 9 plant arboreal pollen grains were identified. Pine (*Pinus*) predominates among trees, alder (*Alnus*) is the second most dominant. *Carpinus orientalis* and *Corylus* pollen grains are scarce. Common hornbeam (*Carpinus orientalis*) and nut (*Corylus*) pollen grains are scarce.

Among herbaceous plants forest ferns spores are abundant (fig. 73), including bracken (*Pteridium aquilinum*), which grows in the bare areas formed after deforestation (Page 1986; Senyanzobe *et al.*, 2020). Seeding cereals (Cereal) – plantain (*Plantago*) and absinth (*Artemisia*) pollen are represented as single grains.

In non-pollen palynomorphs group starch, including wheat starch is dominant. The second dominant is burned wood timber parenchymal cells. Pine decomposed cells are in minor amounts. There are quite a lot of flax fibers (Fig. 74). few granular phytoliths, fungal spores and plant epidermis. Among the zoological remains, we find mainly insect scales and their epidermis. Cereal phytoliths, fungi spores and plant epidermis are in small amounts. Zoological remains are represented by insects' naps and epidermis.

(5) **Site Okureshi II b** (hay meadow lands/). Slag samples ##Ok16/20, Ok 671/22.

The palynological spectrum of the sample turned out to be extremely poor. Among the arboreal plants, single pollen grains of pine (*Pinus*), fir (*Abies nordmanniana*) and hornbeam (*Carpinus betulus*) were found.

Herbaceous plants are represented by abundant fern spores, including adder's tongue (*Ophioglossum vulgatum*) and bracken (*Pteridium aquilinum*). In relatively minor amounts are observed plantain (*Plantago*) pollen.

The non-pollen palynomorphs group is dominant by parenchymal cells of burned timber. There is a large amount of starch. Fungal spores, phytoliths and remains of insects are not so few. Fibers of linen and cotton fabric are observed as well (Fig. 75 b).

(6) Site Lukhvano (Gverdistavi) is located on the right bank of the Tshnissskali river, at an altitude of 1370 meters above sea level (309756 N; 4725374N). Slag sample # Gv676/22.

The palynological spectrum of the in-slag organic remains turned out to be rich and interesting (Fig. 73, 74). Pollen and spores of 25 plants were identified. The number of non-palynological palynomorphs is 12. The number of pollen grains and spores is also large. Among the trees, alder prevails. There are many pollen grains of conifers - pine (*Pinus*), fir (*Abies nordmanniaceae*) and spruce (*Picea orientalis*). Among the broad-leaved trees, the amount of pollen of hornbeam (*Carpinus betulus*) and chestnut (*Castanea sativa*) is well represented (Fig. 41). The role of oak (*Quercus*), beech (*Fagus orientalis*), lime tree (*Tilia*) pollen in the palynological spectrum is less. Single pollen grains of walnut (*Juglans regia*), elm (*Ulmus*), willow (*Salix*), nut (*Corylus*) are found.

The herbaceous plants group is dominated by fern spores. Bracken (*Pteridium aquilinum*) spores were determined in sufficient quantity. Spores of adder's tongue (*Ophioglossum vulgatum*) and moonwort (*Bortyrium lunaria*) are found. There is little pollen of goosefoot family (*Chenopodiaceae*), pink family (*Caryophyllaceae*), absinth (*Artemisia*), cichorium (*Chichorioideae*), grasses (*Poaceae*) and phlox family (*Polemoniaceae*).

The group of non-pollen palynomorphs is dominated by starches, where wheat and other cereal starches grains were found. The second dominant are the parenchymal cells of burned wood timber (Fig. 75 b). There is abundant herbaceous plants phytoliths and plant epidermis. Fungal spores, their sporangia and hyphae have a lesser role in the spectrum. There are also few remains of insects and algae (Fig. 74).

(7) Site Chikelashi is located on the southern slope of the Chikelashi ridge, on the right bank of Tskhenistskali river, 1445 m above sea level (42°39'29.53"N; 42°44'21.19"E). Slag samples ##Ch9/20, Ch667/22.

The palynological spectrum of the organic remains extracted from the slag is not rich. Only 12 plant taxa were identified. A small number of pollen grains of pine (*Pinus*), alder (*Alnus*), hornbeam (*Carpinus betulus*), willow (*Salix*) and nut were found among the tree plants.

From herbaceous plants fern spores dominate including bracken (*Pteridium aquilinum*), and adder's tongue (*Ophioglossum vulgatum*). In addition, pollen grains of plantain (*Plantago*), absinth (*Artemisia*) and umbellifers (*Apiaceae*) were identified.

In the group of non-pollen palynomorphs, burnt parenchymal cells of wood timber predominate. Pineal cells were determined. Starch and phytoliths are abundant. The spectrum contains a lot of flax and a little cotton fiber. Small amounts of insect remains and fungal spores were observed.

(7) Site Chikelashi Technical ceramics (crucible) sample #Ch671/22.

Pollen and spores of 11 plants were determined in the palynological spectrum of organic remains obtained from technical ceramics (crucibles). Arboreal pollen grains of birch (*Betula*), lime tree (*Tilia*), cypress family (*Cupressaceae*) and nut (*Corylus*) were observed.

In herbaceous plants fern spores dominate. Moonwort (*Botrychium lunaria*), adder's tongue (*Ophioglossum vulgatum*) and bracken (*Pteridium aquilinum*) were identified. Plantain (*Plantago*), absinth (*Artemisia*) and *Chenopodium* pollen grains are scarce.

Among the remains of a non-pollen nature, starch and burnt wood cells predominate. There are many cereals phytoliths. Flax fiber and insect remains are abundant. Cotton fibers and fungal spores are in minor amount.

Modern soil palynological analysis

(1) A sample of modern soil in the Dogurashi neighborhoods was taken in the vicinity of the metal-smelting workshop in Dogurashi III. Today hornbeam, oak, lime tree, beech, chestnut, maple, alder grow in the deciduous forest in the vicinity of Dogurashi. The undergrowth is represented by bilberries, nut, wild pear and many forest ferns.

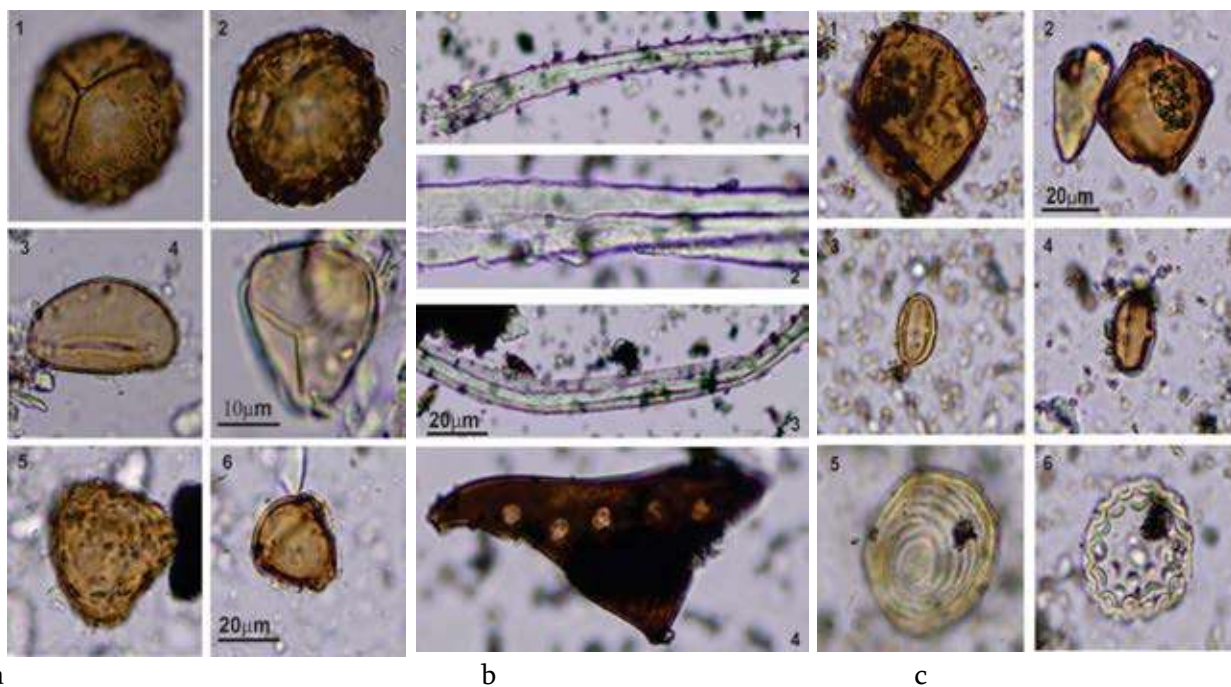


Fig. 75. a) Dogurashi-III; Pollen grains of thermophilous taxa: 1- common hornbeam (*Carpinus betulus*); 2- Zelkova (*Zelkova carpinifolia*); 3,4 – chestnut (*Castanea sativa*); 5 – zygospores of alga *Pseudoschizeae*; 6- zygospores of alga *Zygnemataceae*; b) Okureshi II b; Non-pollen palynomorphs: 1-3-Flax fibers; 4-pine (*Pinus*) parenchymal cells; c) Chikelashi I a; forest ferns spores and pollen grains: 1,2 – *Ophioglossum vulgatum*; 3-forest fern-*Polypodiaceae*; 4- *Pteridium aquilinum*; 4- *Botrychium lunaria*; pollen of *Betula*.

Both local and regional vegetation was reflected in the palynological spectrum of the Dogurashi modern soil (Fig. 73, 74). Alder (*Alnus*) pollen grains are abundant in the spectrum. The composition of the pollen of hazelnut (*Corylus*), chestnut (*Castanea sativa*), lime tree (*Tilia*) and hornbeam (*Carpinus betulus*) is well represented. There is a lot of pine (*Pinus*) pollen, and a few of fir (*Abies nordmanniana*) and spruce (*Picea orientalis*) pollen grains, which are brought by the wind from the upper slopes of the mountain.

It should be noted that the pollen of beech (*Fagus orientalis*), maple (*Acer*), blueberry (*Vaccinium*), common pear (*Pyrus*) and wild apple (*Malus*) present in the modern forest of Dogurashi area were not observed in the palynological spectrum of slags. This fact is explained by the low pollen production and poor conservation properties of these plants or their absence in the mentioned area during the Bronze Age (Klopotovskaia 1973; Kvavadze 1993; Filipova-Marinova et al. 2010).

From the herbaceous group, spores of ferns - adder's tongue (*Ophioglossum vulgatum*) and spleenwort (*Asplenium*) prevail in modern vegetation. Grasses (*Poaceae*), goosefoots (*Chenopodium*), fleaworts (*Plantago*), pink family/pinks (*Caryophyllaceae*), chicories (*Cichorioideae*), knotweed (*Polygonum*) are present in small quantities. Among the grasses

there are also many spores of adder's tongue (*Ophioglossum vulgatum*) and spleenworts (*Asplenium*), which correspond to today's reality.

Among the non-pollen palynomorphs of the Dogurashi modern soil samples, starch and decomposed wood timber parenchymal cells dominate. Fungi spores are abundant: dung-loving fungi (*Sordaria*), glomus (*Glomus*), ustulina (*Ustulina*) as well as microscopic remains of insects. Phytoliths, cereals stem cells and freshwater algae are few. Only two fibers of cotton fabric were found.

(2) Modern soil of Okureshi I. A broad-leaved forest with larch, beech and chestnut is common here. alder is abundant here as well. The undergrowth is represented by yellow azalea, nut and wild pear. The grass cover is well developed and ferns are widespread.

The modern palynological spectrum is quite rich. In the group of arboreal plants, there is a lot of pollen from different species of alder (*Alnus*) (Fig. 73), among which common alder (*Alnus barbata*) is abundant. It is spread throughout the Kolkheti lowlands and the valleys of the lower parts of the mountain. Grey alder (*Alnus incana*), which grows in the highlands, is found in smaller quantities. Nut (*Corylus*) is the second dominant among arboreal plants. There are also quite a lot of hornbeam (*Carpinus betulus*), pine (*Pinus*) and oak (*Quercus*) pollen grains. Chestnut (*Castanea sativa*), beech (*Fagus orientalis*), lime (*Tilia*) pollen is less. Fairly rare are pollen grains of fir (*Abies nordmanniana*), spruce (*Picea orientalis*), elm (*Ulmus*).

Among herbaceous plants spores of ferns prevail - adder's tongue (*Ophioglossum vulgatum*), bracken (*Pteridium aquilinum*), moonwort (*Botrychium lunaria*) and others. Chicory (*Cichorioideae*), goosefoots (*Chenopodium*), grasses (*Poaceae*), umbellifers (*Apiaceae*), common knotgrass (*Polygonum aviculare*), borage family (*Borraginaceae*), fleaworts (*Plantago*), and sedges (*Cyperaceae*) were identified in the spectrum. Algae bur-reed (*Sparganium*) and reed-mace (*Typha*) are observed.

In the spectrum of non-pollen palynomorphs, fungal spores and their sporangia predominate. Mold fungi (*Mucoraceae*), glomus (*Glomus*) and ustulina (*Ustulina*) were identified up to genus. There are quite a lot of starch and decayed parenchymal cells of wood. Phytoliths, remains of insects and mites are few. Eggs of the parasitic pinworm enterobiosis (*Enterobius vermicularis*) were found in the spectrum of the considered soil.

(3) Okureshi II modern soil sample and its pollen spectrum is rich as well (Fig. 73, 74). Alder (*Alnus*) pollen dominates here as well. There are many pollen grains of pine (*Pinus*) and nut (*Corylus*), hornbeam (*Carpinus betulus*), chestnut (*Castanea sativa*) and spruce (*Picea orientalis*). Single pollen grains of fir (*Abies nordmanniana*), lime (*Tilia*), oak (*Quercus*) and willow (*Salix*) are found.

Fern spores predominate in the herbaceous group. Spleenwort (*Asplenium*) spores were identified as well. There are small amounts of pollen grains of umbellifers (*Apiaceae*), borage family (*Borraginaceae*), chicory (*Cichorioideae*), goosefoot family (*Chenopodiaceae*), knotgrass (*Polygonum*) and common knotgrass (*Polygonum aviculare*).

Starch and fungal spores are abundant in the spectrum of non-pollen palynomorphs (Fig. 2), including wheat starch. In the group of ascospores, the spores of the fungus glomus (*Glomus*), ustulina (*Ustulina*) and dung-loving fungi (*Sordaria*) were identified. Decomposed sporangia are also observed. There are many parenchymal cells in wood timber. Herbaceous plants phytoliths are observed. Insect naps and their epidermis are well-represented. There are few tick naps. In the spectrum there is a small amount of freshwater algae Spirogyra (*Spirogyra*), remains of moss, a single fiber of cotton fabric (Fig. 74).

(4) Investigation of the Lukhvano (Gverdistavi) modern soil pollen revealed that developed here plants are similar to those of Okureshi. Alder, beech, oak, chestnut, maple and linden can be found in the forest. In contrast to the palynological spectrum of Lukhvano slags, the amount of arboreal plant pollen is less in the modern soil sample (Fig. 73, 74). Pollen grains of oak (*Quercus*), elm (*Ulmus*), lime (*Tilia*), willow (*Salix*), beech (*Fagus orientalis*) and hornbeam (*Carpinus betulus*) are not found at all. The composition of coniferous dust is also limited in the spectrum. Grasslands, like all modern soils, are rich in fern spores; Adder's tongue (*Ophioglossum vulgatum*) and spleenwort (*Asplenium*) were identified. Goosefoot family (*Chenopodiaceae*), mints (*Lamiaceae*), grasses (*Poaceae*), knotgrass (*Polygonum*), aster (*Aster*), fleaworts (*Plantago*) are in small quantities.

In the group of non-pollen polymorphs, the first dominant is starch, the second - burnt parenchymal cells of wood. Cereals phytoliths and microscopic remains of insects are abundant. Fungi spores are well represented, where Glomus and Ustulina were identified. Fungal hyphae are observed as well small amounts of plant epidermis, tick notes and cotton fiber.

(5) Chikelashi modern soil sample In the surrounding the Chikelashi site forest, both conifers and deciduous plants are widespread; yellow azalea (*Rhododendron*), maple (*Acer*), oak (*Quercus*), alder (*Alnus*), chestnut (*Castanea sativa*), blackberry (*Rubus fruticosus*) are abundant, rarely is found yew (*Taxus baccata*)

The palynological spectrum of the sampled modern soil is dominated by the alder (*Alnus*) pollen. There is quite a lot of conifer pollen. These are fir (*Abies nordmanniana*), spruce (*Picea orientalis*), and pine (*Pinus*). Pollen grains of cypress (*Cupressaceae*), birch (*Betula*), elm (*Ulmus*), hornbeam (*Carpinus betulus*), chestnut (*Castanea sativa*), maple (*Acer*) and nut (*Corylus*) were also found.

In the group of herbaceous plants, the number of spores of ferns prevails. Spores of adder's tongue (*Ophioglossum vulgatum*), spleenwort (*Asplenium*), and bracken (*Pteridium aquilinum*) were identified. Pollen of goosefoot family (*Chenopodiaceae*), fleaworts (*Plantago*), wild and cultivated cereals, cornflower (*Centaurea*), chicory (*Cichorioideae*), mugwort (*Artemisia*), pinks (*Caryophyllaceae*), knotweed (*Polygonum*) was found among other herbs.

Among the non-pollen remains, starch is the first dominant, and the second dominant are fungal spores and their hyphae. *Glomus*, *Ustilina*, and *Brachysporium* were identified. Spores of dung-loving fungi are observed as well. These are: *Podospora*, *Sporormiella* and *Cercophora*. There are many decayed parenchymal cells of wood, insect remains and phytoliths as well as few remains of plant epidermis, cotton fiber and freshwater algae.

Modern pollen spectrum from surface soil

The obtained results show that the palynological spectrum of the modern soil almost all mountain vertical vegetation zones in the Lechkhumi region. From the studied sites, the spectrum of the modern soil of Dogurashi demonstrated the narrow-local, site-specific vegetation best. Although weak in the spectrum, the pollen grains of the forest elements, conifers - fir (*Abies*) and pine (*Pinus*) spread on the upper slopes of the mountain were observed (Fig. 75 b).

Okureshi was the only site where pollen of willow (*Salix*), sedges (*Cyperaceae*) and cereal grasses (*Poaceae*) was identified in the modern soil. Their pollen grains are generally very poorly preserved due to the chemical composition of the soil, in particular, to its high acidity (Moore et al. 1991).

It should be noted that in the modern soil spectrum of Chikelashi the pollen of yellow azalea (*Rhododendron luteum*) and blackberry (*Rubus*) which grow there in abundance, were not found. Azalea is a widespread plant in western Georgia, but is rare in the subfossil soil spectra of western Georgia (Kvavadze 1993, Kvavadze, Stuchlik 1990; 2002).

Abundant bracken (*Pteridium aquilinum*) spores at both Okureshi I and Chikelashi indicate widespread felling (Page 1986; Senyanzobe *et al.*, 2020), still clearly visible at these sites today.

The fungus (*Glomus*) which grows solely on loose soil – and is an important indicator of soil erosion (Hunt *et al.*, 2007) – was recorded from the modern soils of all the copper smelting sites was not found in any of the Late Bronze Age soil samples. Soil erosion may therefore have been less widespread hereabouts in the Late Bronze Age.

Spores of dung-loving fungi found in the pollen spectra of Chikelashi, Okureshi and Dogurashi modern soils confirm the existence of pastures and their intensive use (van Geel and Artroot 2006). The fungi *Podospora*, *Cercophora*, *Sporormiella* and *Sordaria* were also identified in Chikelashi samples (van Geel et al., 2003; (Fig. 73)).

Analysis and synthesis of discussed spectra of modern pollen indicates that modern vegetation, human agricultural activities and soil erosion are well-reflected in the modern soil of Lechkhumi.

Significantly the pollen range of modern Lechkhumi soils differs sharply from that of the Late Bronze Age. This is emphasized by the absence of *Zelkova* (elm) pollen (fig. 75 b) as well as of remains of the *Pseudoschizeae* and other freshwater algae in the modern pollen spectrum. Other important differences are demonstrated on the palynological diagram (Fig. 73, 74), on the basis of which we can conclude that the fossil samples were not contaminated by the modern soil.

Macrobotanical analysis of charcoal

During the samples have been identified heartwood (which has dating implications) as well as roundwood fragments were complete with both pith and bark preserved; The species diversity of the described charcoal samples was very low, with a clear dominance of sweet chestnut. This suggests that sweet chestnut was most commonly utilised for fuel, potentially reflecting the dominance of this tree in local woodlands, although it may also represent deliberate selection (or both). There are fragments of other species were recorded – hornbeam, alder, and only one sample of *Fagus* from the Dogurashi II site (Table #5). Hornbeam grows at medium and high altitudes and is a shade-tolerant plant (it is often found in forest edges), its firewood and charcoal provide a highly caloric fuel. As for alder, grows in humid environments, mostly along rivers and streams. Alder and chestnut wood do not provide sustainable heat, but their charcoal is the best fuel (Jakobitsch et al. 2022; Ludemann 2011; Heiss et al. 2008).

Table # 5 The results of charcoal studies in Lechkhumi

Sample ID	Site	Approximate amount of charcoal	Cont ext	Identification	14 C sample
RC-18-01	Dogurashi I	2 fragm.	1002	Castanea (chestnut) 2, Beech 1	Fagusx 1
RC-18-02	Dogurashi I	2 fragm.	1002	Castanea (hw, sw)	Castanea sw x 1

RC-18-03	Dogurashi I	1 fragm.	1003	Castanea sativa (Chestnut) 1	Castanea x 1
RC-18-04	Dogurashi II	2 fragm.	1020	cf. Castanea 3 Alnus (alder) 1	Alnus x 1
RC-19-02	Dogurashi II	2 fragm.		Carpinus sp. (hornbeam) rw, Alnus sp. (alder)	Castanea sativa (sweet chestnut) (hw, sw)
RC-19-03	Dogurashi II	2 fragm.		Castanea sativa (წაბლო) (hw, sw)	Castanea sw x 1
RC-19-04	Dogurashi II	1 fragm.		cf. Castanea sativa	Castanea x 1 indeterminate maturity
RC-19-05	Dogurashi II	2 fragm.		Castanea sativa (rw)	Castanea x 1 moderate ring curvature
RC-19-06	Chikelashi	3 fragm.		Castanea sativa (sw, hw, rw)	Castanea rw x 1 strong ring curvature

Environmental conditions and human activity in Late Bronze Age

Organic remains from Late Bronze Age slag and crucibles showed a rich pollen range with 21 arboreal and 28 herbaceous plants represented, as well as a large group of non-pollen palynomorphs. This provides the basis for reconstructing Late Bronze Age paleoecological conditions assessing the result of human activities.

Pollen analysis revealed that in the Late Bronze Age, chestnut trees covered were more widespread across Dogurashi than today and were more abundant than other broad-leaved plants, lime trees/linden, oaks and hornbeams were more abundant (Fig.73). Beech, willow and holly grew on the northern slopes. Noteworthy is the fact that elm, now absent, grew at this altitude as well. Chestnut, elm, oak, linden and hornbeam prefer warmer conditions and are markers of former climatic warming in Transcaucasia (Kvavadze, Connor 2005; Kvavadze and Bilashvili 2015). More thermophilic ferns such as Adder's-tongue fern, spleenwort and forest ferns grew in the broadleaf undergrowth. Stagnant standing water, thermophilic algae (*Pseudoschizaeae* and *Spirogyra*) (Medeanic, Silva 2010; Nabavi *et al.*, 2013) – most abundant at Dogurashi III - indicate warmer climate conditions (Scott 1992; Kvavadze, Davadze 2014; Kvavadze *et al.*, 2020).

Abundant chestnut (*Castanea sativa*), alder (*Alnus*)r, hornbeam (*Carpinus betulus*) and beech (*Fagus*) pollen was found in most samples. This correlates with in-slag charcoal identifications conducted in the Oxford University laboratory (fig. 73), showing that local chestnut, alder,

hornbeam and beech were used as fuel in contemporary Late Bronze Age smelting with hornbeam and beechwood charcoal producing highly calorific fuel. By contrast, sweet chestnut and alder wood provide less sustained heat and need to be well seasoned as wood fuel, but make good charcoals (Heiss, *et al.*, 2008; Schibler 2011; Jakobitsch *et al.*, 2022).

Parenchyma (tissue) cells formed as a result of natural pine decay was established at all sites (Fig. 75 b). This may indicate that pine wood, due to its properties - lightweight, relatively straight trunk, moisture resistance (due to saturation with resinous compounds) was used at smelting sites for constructing/manufacturing of lightweight structures such as shelters, water conduits and agricultural tools (Khakhutaishvili D. A. 1987; Jakobitsch *et al.*, 2022; Richter *et al.*, 2004).

It is noteworthy, that almost all samples contain Eagle fern (*Pteridium aquilinum*) spores confirming tree felling for smelting activities as it grows on open landscapes, meadows and burnt areas (Senyanzobe *et al.*, 2020). Ore extraction/mining, as well as smelting, clearly required much timber, this has been roughly calculated during recent research/experimentation at various mining/smelting sites. For example, statistical assessments of slag from mining and smelting sites at Rio-Tinto (Spain) established that 20 million tons of charcoal from approximately 100 million tons of timber was required to produce 10 million tons of slag (Craddock, 2010. p. 193). Chernykh (1998a) estimated that one hectare of woodland in the South Urals could provide 250–270 cubic metres of wood for charcoal during continuous tree felling. Thus 1.5–2 hectares of good quality woodland were required to smelt one tonne of copper. An estimated production of 150,000 tonnes of copper during the Bronze Age may have led to the deforestation of up to 3,000 square kilometres in the Kargaly region (Kearney and O'Brien, 2014. p. 275).

Felling in Lechkhumi is confirmed by presence of (*Ustulina*) fungi spores (Fig. 75 g). *Ustulina* grows only on the decaying timber of felled trees (van Geel 1998). Intensive felling affects the landscape (Freire *et al.*, 2012), causes deforestation and soil denudation/erosion from slopes (Craddock, 2010. p. 193). During erosion, soils are transported uncovering natural outcrops of rock including visible mineralized ore veins. Erosion can thus result in the exposures of large areas of rocks/outcrops, increasing the likelihood of finding mineralized ore veins at the surface.

Agricultural activity in the Dogurashi area is indicated by (cereal and wheat crop) weed pollen. Abundant cultivated cereal starches and their phytoliths are also present. Pollen grains of residential household yards and roadside weed plants are well presented. This is also confirmed by material from the Dogurashi II smelting site (Sulava *et al.*, 2020 (a); Sulava *et al.*, 2020 (b)).

Ancient pollen from organic remains at **Okureshi** were much same as those of Dogurashi and bracken spores confirm contemporary intensive felling as well as past agricultural activities. Besides broad-leaved plants warm climate conditions are indicated by zygospores of thermolytic algae *pseudoschizea*, this alga being missing from modern soil (Fig. 74).

The smelting sites **Lukhvano** (Gverdistavi) and Chikelashi are located high on the mountain slopes (1350-1450 m above sea level) and reflect contemporary Late Bronze Age vegetation. Pollen from slag here came from the upper wooded horizon with birch and juniper (fig. 75). Fir and spruce woodland is also confirmed by the spores of *Botrychium lunaria* which grows only under these conifers (Rivera *et al.*, 2012) (Fig.75 c).

Ruderal (waste loving) plant pollen is a good indicator of long-term human presence at **Chikelashi** as well as at Dogurashi sites. Numerous flax and other textile fibres might represent the fossil remains of prehistoric miners/smelters clothing. Abundant cereal starch might represent flour and cereal residues. Also, warm climatic conditions would have allowed miners/smelters to use areas cleared of woodland for farming (Jakobitsch *et al.*, 2022).

At **Lukhvano**, as well as at Dogurashi and Okureshi, spores of standing freshwater habitats (*Pseudoschizaea*, *Spirogyra*, *Dinoflagellata*) were recorded. Their presence in the pollen record of Late Bronze Age sediments suggests that there were ponds, marshes or artificial reservoirs near the smelting sites (Hunt *et al.*, 2007). Smelting/mining workers needed water resources for various activities: during ore extraction, working clay for furnaces, crucibles and tuyères and for farming etc. (Knapp *et al.*, 2001, p. 206). Small river valleys and sweet water/springs all occur near Lechkhumi smelting sites although few ponds or marshes are now found hereabouts. We suspect Colchian miners/smelter channelled streams towards artificial ponds at the smelting sites, hence the presence still-water loving algae.

Pollens from Late Bronze Age sediments of Colchis, or Western Georgia in general, have been well studied in geological sections and have radiocarbon dates (Kaffke *et al.*, 2000; Kvavadze, Coinnor 2005; Arabuli *et al.*, 2007; Kvavadze, Bilashvili 2015). Climate warming is clear in these cross-sections as well as in Lechkhumi material. Chestnut woodland plus other thermophilic plant types were widespread across Western Georgia and Elm was also important (Kvavadze, Coinnor 2005). A warmer climate occurred throughout the South Caucasus. For example, on the Javakheti plateau (South Georgia at 1500-1900m) Late Bronze Age pollens here indicate a sharp warming allowing wine production and mountains covered with broad-leaved woodland. Today, only mountain steppe landscape is possible here (Kvavadze, Narimanishvili 2010; Kvavadze *et al.*, 2010).

Palynological studies also established that people were engaged in metallurgical activities for a long time and at the same time followed small economic activities as well. The latter included farming, stockbreeding, wood exploitation and water management.

Results:

Thus, through the multidisciplinary studies of the Late Bronze-Early Iron Age metal smelting sites of Lechkhumi-Kvemo Svaneti and the mineralized rocks found in their vicinities, we obtained the following new data about the ancient metallurgy of mountain region of Colchis:

- Geological exploration revealed that the metal smelting sites found in the Lechkhumi-Kvemo Svaneti are spatially linked to the Lower and Middle Jurassic volcanic and volcano-sedimentary rocks and their contact with intrusive bodies. Share zones, hydrothermal alteration and ore mineralization processes were identified in the contact zone. Mineralization is weak, uneven/sporadic and associated with magmatic-hydrothermal activity, during which quartz and ore minerals are penetrate into cracks and fractures. The ore minerals present here are: chalcopyrite (CuFeS_2), sphalerite ($(\text{Zn,Fe})\text{S}$), galena (PbS) and pyrite (FeS_2). The ores are characterized by vein, massive, disseminated, banded-colloform and breccia textures.
- As a result of the typological investigation of slags, three types of slags were determined - massive (cakes) slags, tap slags and platy slags, which correspond to different phases of metal melting; thick layers of sand slag are also found at the investigated metal smelting sites. The latter must be the result of the decomposition/reworking of massive and tap slags.
- Typological study of technical ceramics established: 1. Two types of toyères - thin-walled and thick-walled toyères made of red coarse-grained clay; Among them there are ornamented (snake-like) specimens. 2. Two types of crucibles (smelting vessels) - large thick-walled ones, with a thick layer of slag on the inner walls and mouth, and fragments of relatively small thin-walled crucibles, without traces of metal smelting; Both types of crucibles are made of coarse-grained gray refractory clay. The presence of two types of toyères and crucibles should indicate two different stages of metal smelting.
- As a result of the slags petrographic studies two phases of smelting were identified: 1. crystalline, with frequent inclusions of copper sulfides or metallic copper, and 2. vitreous phase.
- The results of typological and petrographic investigation of slags are consistent with each other and show their differentiation. At this stage of the research, two phases of metal smelting were identified, during which are produced: (1) massive, slag cakes with a crystalline microstructure; (2) light, porous - tap slags with vitreous/glassy microstructure.

As for platy slags, their presence is determined only by the comparative-typological method.

- According to the changes in the shape of the olivine (fayalite) crystals in the slags, it was determined that the cooling of the Late Bronze Age large slag cakes from Lechkhumi lasted for an average of 24 hours, while the cooling of the Nagwenti slags would take about 10-12 hours.
- The quartz inclusions found in the slags should be the remains/restites of unmolten ore-bearing rock, which is common for the ores exposed in the study area and not a specially mixed additive in the form of flux in order to solidify/brittle and rapidly cool the melt.
- The results of X-ray fluorescence and atomic absorption analysis of the mineralized rocks have revealed that the primary ore is copper-zinc-lead- pyrrhotite. The results of the same analysis of the slags and their correlation with the results of the mineralized rocks indicate the same genetic origin of the ore and the slag and confirm that the Colchian metallurgists used the local ore.
- According to the radiocarbon (¹⁴C) analyzes conducted on the charcoals extracted from the slag, metal smelting site Dogurashi II is dated as XIII-X centuries BC; Dogurashi I – XII-XI centuries BC and Gverdistavi - dates back to X-IX centuries BC.
- The palynological study conducted on Late Bronze Age sites, which is the first attempt of this type of research in the Caucasus, confirmed that there was a climatic optimum in Lechkhumi in XIII-IX centuries. This is evidenced by the pollen spectrum composition – abundant thermophilic plants/trees, ferns and sweet water algae zygospores. Environmental conditions - warm climate, species of forests and plants, created appropriate conditions for metallurgical and at the same time such small economic activities as: farming, stockbreeding, wood exploitation and water management.
- Macrobotanical analysis of the charcoals extracted from the slags together with palynology showed that the metallurgists of that time used the surrounding wood as fuel: chestnut (*Castanea*), beech (*Fagus*), hornbeam (*Carpinus*) and alder (*Alnus*).
- It is practically impossible to locate/identify traces of an ancient mine due to the natural conditions in the region (dense vegetation and fairly thick soil cover). We suppose that the early mining activities were associated with shallow pits and were not of a large scale, based on the sporadic occurrence of low-grade ore veins, lenses, and nests in the study area. The exception is the short mine working with round and uniform smooth surfaces of entrance/mouth and interior (ribs, ceiling, floor) in the narrow gorge of the river Rtkhmelebisgele. Unfortunately, it was difficult to detect the age of the mine due to lack of sufficient evidences. The structure of the mine is similar to prehistoric mines where ore extraction was carried out using fire and primitive tools (e. g. reference).

გამოყენებული ლიტერატურა/References:

Academy of Sciences of the USSR 1958, Natural Resources of Georgian SSR, Metallic Mineral Resources, Vol 1 (Moscow) (in Russian).

[Anon] 1970, Useful minerals map of GSSR, 1970: Explanatory no (Tbilisi) (in Russian).

[Anon] 1974, Geology of the USSR, Vol 10, Georgian SSR, mineral resources (Moscow) (in Russian).

Addis, A., Angelini, I., Artioli, G., 2012. Final Bronze Age Copper Slags From Lusern (Trentino, Italy), 2012, <https://www.researchgate.net/publication/270903138>.

Anguilano, L., Angelini, I., Artioli, G., Moroni, M., Baumgarten, B., Oberrauch H., 2002. Smelting slags from Copper and Bronze Age archaeological sites in Trentino and Alto Adige. In: D'Amico C (ed) Atti del II Congresso Nazionale di Archeometria. Bologna, 29 gennaio–1 febbraio 2002. Pàtron, Bologna, pp 627–38.

Arabuli, G., Connor, S., Kvavadze, E., 2007. *Calluna vulgaris* and *Spiranthes amoena* in the Colchis mire flora: weeds or relicts? *Acta Palaeobotanica*, 47 (2), 469-478.

Bachmann, H-G., 1982. The identification of slags from archaeological sites, London: Institute of Archaeology. v, 37 p.

Barkalaia G. A./ Баркалая Г.А. Баркалая Г.А. 1941. Отчёт Цагерской геолого-разведочной партии на полиметаллы за 1940 год. [გამოუქვეყნებელი ანგარიში №3944-უ]. საქართველოს წიაღის ეროვნული სააგენტოს გეოლოგიური ფონდები, 1-79. <https://nam-geofund.archival-services.gov.ge/geofond/printItem/14961>

Bartholomeev, G. K., 1907. Opitara ore deposits. Unpublished report 1298, Geological Funds of Georgian Agency on Mineral Resources, (in Russian). See https://nam-geofund.archival-services.gov.ge/geofond/item_detailed/941.

Behre, K.T., 1981. The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. *Pollen et Spores*, 23, 225-245.

Beridze, M. A., 1983, Geosynclinal volcanogenic-sedimentary lithogenesis on the example of Early Alpine formations of the Southern Slope of the Great Caucasus (Tbilisi: Proceedings of Al Janelidze Institute of Geology of the Academy of Sciences of Georgian SSR), New series, 80, Metsniereba, 321. (in Russian).

Bezhanishvili, N. M., 1933, Brief summary on the examination of the copper ore deposit in the vicinity of v. Opitara (Tsageri District). Unpublished report 1091, Geological Funds of Georgian Agency on Mineral Resources [in Russian]. See https://nam-geofund.archival-services.gov.ge/geofond/item_detailed/774.

Bourgarit, D., 2007, Chalcolithic copper smelting, in S La Niece, D Hook, and P Craddock (eds), *Metals and Mines: studies in archaeometallurgy* (London), 3-14
Donaldson C.H., 1976. An experimental investigation of olivine morphology. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 57, 187-213.

Gobejishvili G 1962, The results of archaeological expedition of the the southern slope of the middle of the [Greater] Caucasus in the Bronze Age in 1961', Summary of reports (Tbilisi) [in Georgian].

Chernykh, E., 1998. Ancient mining and metallurgy in Eastern Europe: ecological problems. In B. Hänsel, ed. *Mensch und Umwelt in der Bronzezeit Europas*. Kiel: Oetker-Voges Verlag, pp.129–34.

Craddock, T. P., 2010. *Early metal mining and production*. London: Archetype publications Ltd.

Craddock P.T., 2013. Local traditions and foreign contacts: innovation in Tartessian metallurgy. In: Camos Carrasco JM, Alvar Ezddocquerra J. (eds) *Tarteso: el Emporio del metal: I Congreso Internacional Tarteso*, Almuzara, Córdoba, pp 231–268.

Filipova-Marinova, M., Kvavadze, E., Connor, S., Sjogren, P. 2010. Estimating absolute pollen productivity for some European Tertiary-relict taxa. *Vegetation History and Archaeobotany*, 19, 351–364.

Friere, C. F., Gonzalez, A. U., Garcia, J. M. V., and Navarrete, I. M., 2012. Bronze Age economies and landscape resources in the Kargaly steppe (Orenburg, Russia). 31st EARSeL Symposium Remote Sensing and Geoinformation not only for Scientific Cooperation, Prague, May 30 - June 2, 2011. *EARSeL eProceedings* 11 (1).

Grimm, E. C., 2011. *Tilia software. Versión 2.1.1*. Illinois State Museum, Research and Collections Center, Springfield.

Gobejishvili G 1962, The results of archaeological expedition of the southern slope of the middle of the (Greater) Caucasus in the Bronze Age in 1961', Summary of reports (Tbilisi) (in Georgian).

Hanning E., 2012. Reconstructing Bronze Age copper smelting in the Alps: an ongoing process. *Experimentelle Archäologie in Europa* 11:75–86.

Haubner, R., Strobl, S., & Trebsche, P., 2019. Metallographic analyses from the late Urnfield period copper mining settlement at Priggwitz-Gasteil in Lower Austria. In R. Turck, T. Stöllner, & G. Goldenberg (Eds.), *Alpine Copper II - Alpenkupfer II - Rame delle Alpi II - Cuivre des Alpes II, New Results and Perspectives on Prehistoric Copper Production* (pp. 323–332). VML Verlag Marie Leidorf GmbH. <http://hdl.handle.net/20.500.12708/30249>

Hauptmann A., 2000. Zur frühen Metallurgie des Kupfers in Fenan/Jordanien. *Der Anschnitt*, Beiheft 11. Deutsches Bergbaum-Museum, Bochum.

Hauptmann A., Rehren T., Schmitt-Strecker S., 2003. Early Bronze Age copper metallurgy at Shahr-i Sokhta (Iran), reconsidered. In: Stöllner T, Körlin G, Stefens G, Cierny J (eds) *Man and mining - Mensch und Bergbau: studies in honour of Gerd Weisgerber on occasion of his 65th birthday*. *Der Anschnitt*, Beiheft 16. Deutsches Bergbau-Museum, Bochum, pp 197–213.

Hauptmann A. 2007. *The Archaeometallurgy of Copper: Evidence from Wadi Fainan, Jordan* (Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag).

Hein A., Kilikoglou V., Kassianidou V., Chemical and mineralogical examination of metallurgical ceramics from a Late Bronze Age copper smelting site in Cyprus, 2007, *Journal of Archaeological Science* 34 (2007) 141e154, DOI: 10.1016/j.jas.2006.04.005.

Heiss, A. G., Oeggel, K., 2008. Analysis of the fuel wood used in Late Bronze Age and Early Iron Age copper mining sites of the Schwaz and Brixlegg area (Tyrol, Austria). *Vegetation History and Archaeobotany*, 17, 211–221.

Hunt, O. Ch., Gilbertson, D.D., El-rishi, A. H., 2007. An 8000-year history of landscape, climate, and copper exploitation in the Middle East: the Wadi Faynan and the Wadi Dana National Reserve in southern Jordan. *Journal of Archaeological Science*, 34(8), 1306-1338.

Inanishvili, G., 2014. *At the Sources of Georgia Metallurgy (4th-1st millennium B.C.)*. Tbilisi: National Museum of Georgia.

Ivanitski, T. V., Vezirishvili, E. K., 1954. Geology and mineralization of the Rtskhmeluri ore field and Lentekhi mineralization (Kvemo Svaneti); Report for Institute of Geology and Mineralogy of the Georgian SSR Academy of Sciences. Unpublished report 8904, Geological Funds of Georgian Agency on Mineral Resources. Available from: https://nam-geofund.archival-services.gov.ge/geofond/item_detailed/15666.

Janelidze, T. B., 1965. Middle Jurassic volcanism of the Southern Slope of the Great Caucasus Geosyncline (the area in-between the Enguri-Tskhenistskali rivers). (Ph.D.), Geological Institute of Georgian SSR Academy of Sciences, Tbilisi. Unpublished report 11640, Geological

Funds of Georgian Agency on Mineral Resources. Available from: https://nam-geofund.archival-services.gov.ge/geofond/item_detailed/17289/0.

Jakobithsch, T., Wiesinger, S., Heiss, G.A., Faltner, F., Oeggel, K., Grabner, M., Trebsche, P., 2022. Wood use and forest management at the Late Bronze Age copper mining site of Priggwitz-Gasteil in the Eastern Alps – A combined anthracological, archaeological, and palynological approach. *Journal of Archaeological Science, Reports* 46 (2022), 1036- 1338.

Kaffke, A., Couwenberg, J., Loosten, H., Marchutashvili, I., and Schulz, 2000. Ispani II: the world's first percolation bog: 487. In: A. Crowe, S. Campeau&L. Rubec, eds. Quebec 2000 Millennium Wetland Event. Quebec, Canada: Program with Abstracts: 487.

Kearney, K., O'Brien, W., 2021. Palynological investigation of a later Bronze Age copper mine at Derrycarhoon in south-west Ireland. *Proceedings of the Royal Irish Academy*, 121C, 55-90.

Klopotovskaya, N., V., 1973. Abstract of Ph.D. Dissertations. Tbilisi, 38 p.

Knapp, A., B., Kassianidou, V., Donnelly, M., 2001. Copper Smelting in Late Bronze Age Cyprus: The Excavations at Politiko Phorades. *Near Eastern Archaeology*, 64 (4), 204-210.

Khakutaishvili, D., 2009. *The Manufacture of Iron in Ancient Colchis*. Oxford: Archaeopress.

Kvavadze E., 1993. On the investigation of subfossil spore-pollen spectra in the mountains. *Acta Paleobotanica*, 33(1), 347-360.

Kvavadze, E., and Biliashvili, K., 2015. Identification of anthropological landscapes and human activity in Georgia in correlation with Holocene Black Sea level fluctuations. *Earth Sciences*, 4 (5-1), 120.

Kvavadze, E., and Davadze, M., 2014. Results of the palynological study of pot organic material from Pichvnari Semmetry site, tomb #339. *Iberia-Colchis, Researches on the Archaeology and History of Georgia in the Classical and Early Medieval Period*, 10, 111-117.

Kvavadze, E., and Connor, S., 2005. *Zelkovacarpinifolia* (Pall.) Dipp. in Holocene sediments of Georgia as a climatic optima signal. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 133, 69-89.

Kvavadze, E., and Narimanishvili, G., 2010. The palaeolandscapes of the Tsalka Plateau in the Late Pleistocene and Holocene (in the light of palynological data from archaeological and geological material). In: M. Vickers ed. *Rescue Archaeology in Georgia: The Baku-Tbilisi-Ceyhan and South Caucasus Pipelines*. Tbilisi: Georgian National Museum Press, pp. 573-606.

Kvavadze, E., Narimanishvili, G., Bitadze, L. 2010. Fibres of *Linum* (flax), *Gossypium* (cotton) and animal wool as non-pollen palynomorphs in the Late Bronze Age burials of Saphar-Kharaba, southern Georgia. *Vegetation History and Archaeobotany*, 19 (5-6), 479-494.

Lordkipanidze, O., 2002. At the beginning of the ancient Georgian civilization. Tbilisi: Tbilisi State University.

Ludemann, T., 2011. Scanning the historical and scientific significance of charcoal production – local scale, high resolution kiln site anthracology at the landscape level. 5th International meeting of charcoal analysis, The charcoal as cultural and biological heritage, Valencia, Spain, September 5th-9th. *Saguntum extra-11*, pp. 23-24.

Maruashvili, L., 1970. Physical geography of Georgia. Tbilisi: Tbilisi University Press.

Medeanic, S., Silva, M.B., 2010. Indicative value of non-pollen palynomorphs (NPPs) and palynofacies for palaeoreconstructions: Holocene Peat, Brazil. *International Journal of Coal Geology* 84, 248–257.

Metten B., 2003. Beitrag zur spätbronzezeitlichen Kupfermetallurgie im Trentino (Südalpen) im Vergleich mit anderen prähistorischen Kupferschlacken aus dem Alpenraum. *Metalla* 10(1-2):1–122.

Mikeladze, T., 1974. Searches from the history of the ancient population of Kolkheti and the southeastern Black Sea region. Tbilisi: Mecniereba.

Moore, P. D., Webb, J. A., Collinson, M. E., 1991. Pollen analysis. Oxford: Blackwell Scientific Publications.

Page, C. N., 1986. The strategies of bracken as permanent ecological opportunist. In: R.T. Smith, J.A. Taylor, Eds. *Bracken: Ecology, Land Use and Control Technology*. Cornforth: Parthenon Press, pp. 173–180, 8.

Nadiradze, V. R., Alibegashvili, B. A., Kakhadze, E. I., Otkhmezuri, Z., V. 1973. Formation conditions and distribution regularities of endogenous ore formations of Racha and Svaneti. Tbilisi.

Nabavi, S., Nabavi, S., Ebrahimzaden, M., Jafari, N., Yazdanpanah, S., 2013. Biological Activities of Freshwater Algae, *Spirogyra singularis* Nordstedt. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 22(1), 58-65.

Nakhutsrishvili, G., 2013. The vegetation of Georgia (South Caucasus). Berlin: Springer-Verlag.

Reitmaier-Naef L., 2019. Copper smelting slag from the Oberhalbstein (Canton of Grisons, Switzerland): methodological considerations on typology and morphology. In: Turck R, Stöllner T, Goldenberg G (eds) *Alpine Copper II – Alpenkupfer II – Rame delle Alpi II – Cuivre des Alpes II: new results and perspectives on prehistoric copper production*. Der Anschnitt,

Beiheft 42. Deutsches Bergbau Museum, Bochum / Marie Leidorf, Rahden, Westphalia, pp 229–244.

Rezesidze, N., Sulava, N., Gilnour, B., Beridze, T., Chagelishvili, R., 2018. Prehistoric metallurgy in mountainous Colchis (Lechkhumi). *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 12(1), 183-187.

Richter, H., Grosser, D., Heinz, I., Gasson, P., 2004. Iawa list of microscopic features for softwood identification by an Iawa Committee. *International Association of Wood Anatomists at the National Herbarium Nederland. Leiden, The Netherland: Iawa Journal*, 25(1), 1-70.

Rivera, D., Matilla, G., Obon, C., and Aicaraz, F., 2012a. *Plants and humans in the Near East and the Caucasus. Vol. 1. Servicio de Publicaciones. Spain : Universidad de Murcia.*

Rothenberg B, Blanco-Freijeiro A., 1981. *Studies in ancient mining and metallurgy in south-west Spain: explorations and excavations in the Province of Huelva. Metal in History 1. Institute for ArchaeoMetallurgical Studies, Institute of Archaeology, University of London, London.*

Sakharova, S. L., 1966. *The Late Bronze Culture of the Tskhenistskali River Gorge. Unpublished thesis (PhD), Ivane Javakishvili Tbilisi State University.*

Senyanzobe, J.M.V., Mulei, M. J., Bizuru, E., Nsenngimuremyi, C., 2020. Impact of *Pteridium aquilinum* on vegetation in Nyungwe Forest, Rwanda. *Heliyon* 6 (9), e04806.

Schibler, J., Breitenlechner, E., Deschler-erb, S., Goldenberg, G., Hanke, K., Hiebel, G., Plogmann, H. H., Nicolussi, K., Marti-gradel, E., Pichler, S., Schmidl, A., SCHWARZ, S., Stopp, B., & Oeggel, K., 2011. Miners and mining in the Late Bronze Age: a multidisciplinary study from Austria, *Antiquity* 85(330), 1259-1278.

Scott, L., 1992. Environmental implications and origin of microscopic *Pseudoschizae* Thiergart and Frantz ex R. Potonie emend. *Journal of Biogeography*, 19, 349–354.

Sulava, N., Gilmour, B., Chagelishvili, R., Beridze, T. Rezesidze, N., 2020a. Late Bronze Age (Colchian) copper production in the Lechkhumi region. *Historical Metallurgy*, 52(2), 59–72.

Sulava, N., Gilmour, B., Rezesidze, N., Chagelishvili, R., Beridze, T. (2020b). *The Origin and Development of Prehistoric Copper Metallurgy in Mountainous Colchis (Lechkhumi)*. Tbilisi. Available from: https://issuu.com/gnmuseum/docs/the_origin_and_development_of_prehistoric_copper_m

Togonidze G 1933, Preliminary report on the works conducted in 1933 by the Opitara geological exploration party. Unpublished report 1093, Geological Funds of Georgian Agency on Mineral Resources [in Russian]. See https://nam-geofund.archival-services.gov.ge/geofond/item_detailed/775

Topuria P A 1938, About the slags from Racha and Lechkhumi: Report. Unpublished report 2087, Geological Funds of Georgian Agency on Mineral Resources [in Russian]. See https://namgeofund.archival-services.gov.ge/geofond/item_detailed/1628/0.

Topuria P A 1938, 'About the slags from Racha and Lechkhumi: Report', Geological Funds of Georgian Agency on Mineral Resources 2087 [in Russian].

Tvalchrelidze GA 1961, Endogenous metallogeny of Georgia (Moscow) [in Russian].

Tylecote, R.F., 1987. The early history of metallurgy in Europe. Longman, London.

Van Geel, B., 1986. Application of fungal and algal remains and other microfossils in palynological analyses. In: B. E. Berglund, ed. Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology. Chichester: J. Wiley & Sons, pp. 497–505.

Van Geel, B., 1998. In: M.L. van Hooft, M. Henndrikse, Eds. A Study of Non-pollen Objects in Pollen Slides (The Types as Described by Dr Bas Van Geel and Colleagues). Utrecht.

Vieira D., Bielefeldt W. V., Faria Vilela A. C., 2017. Slag Foaming Fundamentals - A Critical Assessment. R. Arnaldo Montecinos de Almeida, Materials Research. 2017; 20(2): 474-480).

Zhenfei S., Siran L., Shugang Y., Kunlong Ch., Jianli Ch., 2022. Trace element analysis reveals varied functions of copper processing crucibles from the Shang City at Zhengzhou, Archaeological and Anthropological Sciences 14:128, <https://doi.org/10.1007/s12520-022-01593-4>.