

საქართველოს მეოთხეულის ტექტონიკურ-გეომორფოლოგიური გარემოს რეკონსტრუქცია

ლაშა სუხიშვილი

*სადისერტაციო ნაშრომი წარდგენილია ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის
საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებისა და მედიცინის ფაკულტეტზე გეოგრაფიის
დოქტორის აკადემიური ხარისხის მინიჭების მოთხოვნების შესაბამისად*

პროგრამა

დედამიწის შემსწავლელი მეცნიერებების (მიმართულება გეოგრაფია)

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: სრული პროფესორი ზურაბ ჯავახიშვილი

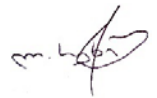
ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტი

თბილისი, 2021

განაცხადი

როგორც წარდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის ავტორი, ვაცხადებ, რომ ნაშრომი წარმოადგენს ჩემს ორიგინალურ ნამუშევარს და არ შეიცავს სხვა ავტორების მიერ აქამდე გამოქვეყნებულ, გამოსაქვეყნებლად მიღებულ ან დასაცავად წარდგენილ მასალებს, რომლებიც ნაშრომში არ არის მოხსენიებული ან ციტირებული სათანადო წესების შესაბამისად.

ლამა სუხიშვილი



20.01.2021

აბსტრაქტი

საქართველოს ტერიტორია, როგორც კავკასიის სისტემის ნაწილი, საკმაოდ დინამიურ ტექტონიკურ, გეოლოგიურ და კლიმატურ გარემოში მდებარეობს. ამ მიმართულებით დღეს არსებული საფრთხეები და გამოწვევები მნიშვნელოვნად უკავშირდება გეოლოგიურ წარსულში დაწყებულ პროცესებს. ამიტომ პალეო გარემოს და პროცესების დადგენა მნიშვნელოვანია მომავალი საფრთხეების იდენტიფიცირებისთვის. აღნიშნული მიზნების განსახორციელებლად საქართველოში შევარჩიეთ რამდენიმე საკვლევ უბანი. ტექტონიკურ-გეომორფოლოგიური, რაოდენობრივ-გეომორფოლოგიური, სტრატиграფიული, ლაბორატორიული ანალიზების და დათარიღების სხვადასხვა მეთოდების გამოყენებით მიღებულმა შედეგებმა გვაჩვენა, რომ საქართველოში, მეოთხეული პერიოდის განმავლობაში, დღემდე, მიმდინარეობს საკმაოდ დინამიური პროცესები, რომლებიც იწვევს არამართო ბუნებრივი საფრთხეების ფორმირებას, არამედ რელიეფის და ლანდშაფტების სწრაფ მოდიფიკაციას. კვლევამ აჩვენა, რომ ადრეული ჰოლოცენიდან დაწყებული, ლანდშაფტის ფორმირებაში მზარდი როლი უკავია ადამიანსაც. აღსანიშნავია, რომ ნაშრომის ფარგლებში, ზოგიერთ უბანზე პირველად განხორციელდა აბსოლუტური დათარიღებები და სხვა პროგრამული და ლაბორატორიული ანალიზები.

ძირითადი საძიებო სიტყვები: პალეო გარემო, ტექტონიკური-გეომორფოლოგია, ალაზნის აუზი, მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სისტემა, მარნეულის დეპრესია, ალგეთის აუზი, დათარიღება, დეფორმაცია

Abstract

The territory of Georgia, as a part of Caucasian system, is in a quite dynamic tectonic, geologic, and climatic environment. Natural hazards are often related to the processes originating from the geological past. Therefore reconstructing paleo environment and its ruling processes is crucial to identify future hazards. To handle these challenges, several areas were selected and applied tectonic-geomorphologic, quantitative-geomorphologic, stratigraphic, laboratory analyses and dating approaches. As a result, we got the evidence that since Quaternary period, quite dynamic processes are going, resulting not only the natural hazards, but rapid modification of the terrain and landscapes. The study showed that human has an increasing influence on landscape modification since early Holocene. It is important, that within the frame of this work, at certain areas, absolute dating and other types of software and laboratory was applied for the first time.

Key Words: Paleo environment, tectonic-geomorphology, Alazani Basin, Kura Fold-Thrust Belt, Marneuli depression, Algeti catchment, Dating, Deformations

მადლობა

ნაშრომი შესრულებულია ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის დედამიწის შემსწავლელი ინსტიტუტის და სეისმური მონიტორინგის ეროვნული ცენტრის მიერ ფინანსური და სხვა რესურსების საშუალებით, ამიტომ მადლობა მის ყველა თანამშრომელს, განსაკუთრებით დირექტორ თეა გოდოლაძეს, ასევე გიორგი მერებაშვილს და გიორგი ბოიჩენკოს;

სადისერტაციო ნაშრომის ფორმირებაში, საველე და საოფისე კვლევებში მნიშვნელოვანი იყო ხელმძღვანელ ზურაბ ჯავახიშვილის როლი;

ნაშრომზე მუშაობა და მასში შესული მრავალი მასალის მოპოვება და დამუშავება შესაძლებელი გახდა შემდეგი ფონდების და პროექტების მხარდაჭერით:

- რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის დოქტორანტურის საგანმანათლებლო პროგრამების გრანტი: მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყელის დასავლეთ ნაწილის ნეოტექტონიკური დეფორმაციების კვლევა PhDF2016_208;
- რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფუნდამენტური კვლევებისათვის სახელმწიფო სამეცნიერო გრანტი: მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყელის დასავლეთ ნაწილის აქტიური დეფორმაციები და კუმშვის სიდიდე FR-19-3211;
- რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ახალგაზრდა მეცნიერთა საზღვარგარეთ სამეცნიერო-კვლევითი სტაჟირებისთვის სახელმწიფო სამეცნიერო გრანტი დედამიწის შემსწავლელი მიმართულებით: საქართველოს აღმოსავლეთ კავკასიონის მთათაშუა არის ტექტონიკურ-გეომორფოლოგიური ანალიზი რაოდენობრივი მეთოდებით IG 29/1/16 (სტაჟირება არიზონას სახელმწიფო უნივერსიტეტის დედამიწისა და კოსმოსის კვლევის ფაკულტეტზე);
- ამერიკის შეერთებული შტატების ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტი #EAR-1450970. ხელმძღვანელები ადამ ფორტე და ქელინ უიფლი;
- Deutsche Forschungsgemeinschaft პროექტის # SU 491/5-1). ხელმძღვანელი ჰანს ფონ ზუხოდოლეცი;

ნაშრომის ლაბორატორიული ნაწილი (განამარხების ასაკების დადგენა კოსმოგენური ნაწილაკების საშუალებით, რადიონახშირბადული და ლუმინესცენციური დათარიღება და სხვა) შესრულებულია ადამ ფორტეს, ჰანს ფონ ზუხოდოლეცის, ჯოელ ლეონარდის, არჯუნ ჰეიმსათის და პუბლიკაციების თანაავტორების მიერ. ნაშრომის ავტორს (ლაშა სუხიშვილი) ამ მიმართულებით კონტრიბუცია არ გაუკეთებია.

და ბოლოს, წინამდებარე ნაშრომის განხორციელება შესაძლებელი გახდა ლუიზიანას სახელმწიფო უნივერსიტეტის (ა.შ.შ.) პროფესორ ადამ ფორტეს და ლაიპციგის უნივერსიტეტის (გერმანია) პროფესორ ჰანს ფონ ზუხოდოლეცის უმნიშვნელოვანესი სამეცნიერო და სხვა რესურსების კონტრიბუციით. ასევე, ნაშრომში გამოყენებული მეთოდების შერჩევაში, და ზოგადად კვლევის ტექტონიკური ნაწილის სტრუქტურის ჩამოყალიბებაში, მნიშვნელოვანი იყო დისკუსიები არიზონას სახელმწიფო უნივერსიტეტის (ა.შ.შ.) პროფესორ ქელინ უიფლთან.

სარჩევი

სარჩევი	vi
ფიგურების ჩამონათვალი.....	vii
ცხრილების ჩამონათვალი	ix
შესავალი.....	1
მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის და ლიტერატურის მიმოხილვა.....	7
კვლევის მეთოდები.....	16
<i>პალეო დინებების ანალიზი</i>	<i>16</i>
<i>ტექტონიკურ-გეომორფოლოგიური მეთოდები.....</i>	<i>18</i>
<i>გაშიშვლებების სტრატиграფიული კარტირება და შრეების ასაკის დათარიღება...</i>	<i>25</i>
<i>მძიმე მინერალების ანალიზი.....</i>	<i>28</i>
შედეგები გომბორის ქედიდან	29
შედეგები მარნეულის დეპრესიიდან.....	35
შედეგების განხილვა.....	40
კლიმატურ-ანთროპოგენური პროცესებით გამოწვეული ლანდშაფტის დინამიკა ალგეთის ხეობის მაგალითზე - გამოყენებული მეთოდები და შეგები	47
დასკვნები და რეკომენდაციები.....	55
გამოყენებული ლიტერატურა.....	57

ფიგურების ჩამონათვალი

- ფიგურა 1: კალაპოტის ციცაბოობის ინდექსი ცალკეული აუზების ფარგლებში (შერჩეულია 22 უმსხვილესი აუზი), გამოსახული 1 კმ-იანი უჯრედებით. ანალიზი განხორციელებულია 2021 წლის 4 იანვარს გამოქვეყნებული ALOS World 3D – 30m (AW3D30)-ის საფუძველზე..... 1
- ფიგურა 2: მცირე რუკაზე ნაჩვენებია კავკასიის მდებარეობა და ძირითადი ტექტონიკური ერთეულები. ცენტრალურ რუკაზე ნაჩვენებია მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის მდებარეობა (დასავლეთ, ცენტრალურ და აღმოსავლეთ სეგმენტების განლაგება) მცირე კავკასიონებს შორის, ასევე ალაზნის აუზი, გომბორის ქედი და მტკვრის აუზი. ფერებით კოდირებულია აბსოლუტური სიმაღლეები EGM 96-ის გეოიდის ნულიდან. ქვედა პროფილზე ნაჩვენებია მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის ვერტიკალური ტოპოგრაფიული ჭრილი 20-ჯერადი ამოზომვით (Sukhishvili et al. 2020). 3
- ფიგურა 3: ნაჩვენებია საკვლევი არეალი, მარნეულის დეპრესიის და იაღლუჯას ქედის მდებარეობა და ამ ტერიტორიაზე გამდინარე მდინარეები (Suchodoletz et al. 2015). 5
- ფიგურა 4: ნაჩვენებია საკვლევ რეგიონში დაფიქსირებული მიწისძვრები. ფერებით კოდირებულია ჰიპოცენტრები (წითლისკენ მზარდი სიღრმით), და წერტილების დიამეტრი იზრდება Mw მაგნიტუდის ზრდის შესაბამისად (Onur et al. 2019). Tan და Taymaz (2006)-ის მიერ აგებულ რღვევის სიბრტყეზე გამოსახულია კომპრესიული რღვევის მექანიზმი (Sukhishvili et al. 2020). 9
- ფიგურა 5: ნაჩვენებია საკვლევი არეალის ზოგადი ლითოლოგია (შედგენილი საბჭოთა პერიოდის წყაროების მიხედვით). ლითოლოგიის ფერები მინიჭებულია საერთაშორისო სტრატეგრაფიული ცხრილის მიხედვით; დაშრევების ელემენტები საარქივო მონაცემების და ჩვენი სავსე გაზომვების მიხედვით; პალეო დინებების ანალიზის შედეგები, სადაც სვეტები დინებების მიმართულებებს აჩვენებს. ხოლო თეთრი ფონით გამოსახული შედეგები განეკუთვნება 2020 წლის ნოემბრის გაზომვებს, და ისრით ნაჩვენებია დინების დომინანტური მიმართულება. კონტურებიანი აუზები პირობითი ნომრებით გამოყენებულია ტექტონიკურ-გეომორფოლოგიურ ანალიზში. ეს ფიგურა გამოქვეყნებულია Sukhishvili et al. 2020-ში, ხოლო შევსებულია წინამდებარე ნაშრომში. 10
- ფიგურა 6: ნაჩვენებია აღჩაგილის სართულში, გვიან პლიოცენში (დაახლოებით 2.6 მილიონი წლის წინ) პონტოკასპიურ რეგიონში ტრანსგრესიის საზღვრები. რუკა აღებულია Krijgsman et al. 2019-დან. 11
- ფიგურა 7: ნაჩვენებია პალეონტოლოგიური ნამარხების პოვნის ადგილები და სახეობების ჩამონათვალი (Chkhikvadze et al. 2000). სახეობების გამოსახულებები დაცულია Creative Common Share and Adapt ტიპის ლიცენზიით. 12
- ფიგურა 8: ნაჩვენებია აფშერონის სართულში, ადრე პლეისტოცენი (დაახლოებით 1-2 მილიონი წლის წინ) პონტოკასპიურ რეგიონში რეგრესიის შედეგები. ნარინჯისფრად

ნაჩვენებია ფლუვიალური ვაკეები, ხოლო ყვითლად - სანაპირო ვაკეები. რუკა აღებულია Krijgsman et al. 2019-დან.	13
ფიგურა 9: ალაზანი 1-ის ფაციესის საგები მდ. კისისხევის ხეობიდან. ფოტო გადაღებულია ჩრდილო-დასავლეთ მიმართულებით და ასახავს კონგლომერატების (a) ციცაბო, ჩრდილო-აღმოსავლეთ დაქანებას. b-თი აღნიშნულია ლამის შრე (Sukhishvili et al. 2020).	14
ფიგურა 10: ნაჩვენებია მდ. ფაფრისხევის ხეობაში მიკვლეული ჩრდილო-აღმოსავლეთით დახრილი ვულკანური ფერფლი (Sukhishvili et al. 2020).	15
ფიგურა 11: პალეო დინეების ანალიზისთვის კლასტების გაზომვის პროცესი.	18
ფიგურა 12: ნაჩვენებია მდ. ჭერმისხევის კალაპოტი, რომლის ნაწილი წარმოდგენილია ძირითადი ქანით, ხოლო მეორე ნაწილზე გვხვდება აკუმულაციური მასალა. K_{sn} ინდექსის დათვლისას, ასეთი კალაპოტები კლასიფიცირება ძირითადი ქანის კალაპოტებად (აკუმულაციური უბნის იგნორირება დასაშვებია). შესაბამისად, აკუმულაციურად ვთვლით მხოლოდ ისეთ კალაპოტს რომელიც სტაბილურად დაფარულია აკუმულაციური ფენით და ძირითადი ქანი არ შეინიშნება.	20
ფიგურა 13: ნაჩვენებია TRMM-ის პიქსელების მდებარეობა, საკვლევი აუზების განლაგება და ნუმერაცია (Sukhishvili et al. 2020).	21
ფიგურა 14: ნაჩვენებია გომბორის ქედის თხემურ ნაწილში არსებული აღჩაგილ-აფშერონული ნალექების „კუნძული“. ზედა მარცხენა ფოტო: სირთულეები ნიმუშის აღების პროცესში; ქვედა მარცხენა ფოტო: ასახულია ნალექების ჭრილი; მარჯვენა ფოტო: ნაჩვენებია GOMSS01 ნიმუშის აღების ორმო (მდებარეობის სანახავად იხილეთ ფიგურა 5).	24
ფიგურა 15: ნაჩვენებია მარნეულის დეპრესიასა და მიმდებარე ტერიტორიაზე ჭრილების და ნიმუშების მდებარეობები (Suchodoletz et al. 2016).	26
ფიგურა 16: ფლუვიალურ ჭრილებზე კიბის გამოყენების პროცესი.	26
ფიგურა 17: ნაჩვენებია მარნეულის დეპრესიაში არსებული გეომორფოლოგიური სიტუაცია - ჭრილების, დათარიღებების და მძიმე მინერალების ანალიზების მდებარეობები და მიღებული შედეგები (Suchodoletz et al. 2016).	28
ფიგურა 18: ზედა რუკაზე ნაჩვენებია აბსოლუტური სიმაღლეები და საკვლევი აუზების ნუმერაცია, ხოლო დიაგრამაზე - ადგილობრივი რელიეფის განაწილება საკვლევი აუზების მიხედვით. ქვედა რუკაზე ნაჩვენებია K_{sn} ინდექსები მდინარეებზე და ასევე მათი გასაშუალოებული მაჩვენებლები საკვლევი აუზების მიხედვით (Sukhishvili et al. 2020).	31
ფიგურა 19: ნაჩვენებია სხვადასხვა ტექტონიკურ-გეომორფოლოგიურ ინდექსებს, ლითოლოგიას და ნალექებს შორის კორელაციები (Sukhishvili et al. 2020).	32
ფიგურა 20: მდინარე კისისხევის ზედა დინებაში, ცარცული ნალექების ზონაში, მდინარის მიერ გაჭრილი მეწყრული სხეული.	33
ფიგურა 21: საკვლევი აუზების მიხედვით ნაჩვენებია a. გომბორის ქედზე მიმართების პარალელური ზოლის ტოპოგრაფიული და k_{sn} ინდექსის პროფილი; b. აუზების საშუალო k_{sn} ინდექსი; c. მაქსიმალური ადგილობრივი რელიეფი; d. ფერდობების საშუალო დახრა; e. TRMM-დან მიღებული საშუალო წლიური ნალექები ასევე, ზედა ზოლში კოდირებულია აუზების ზედაპირზე დომინანტი ქანები - მწვანე ფრად	

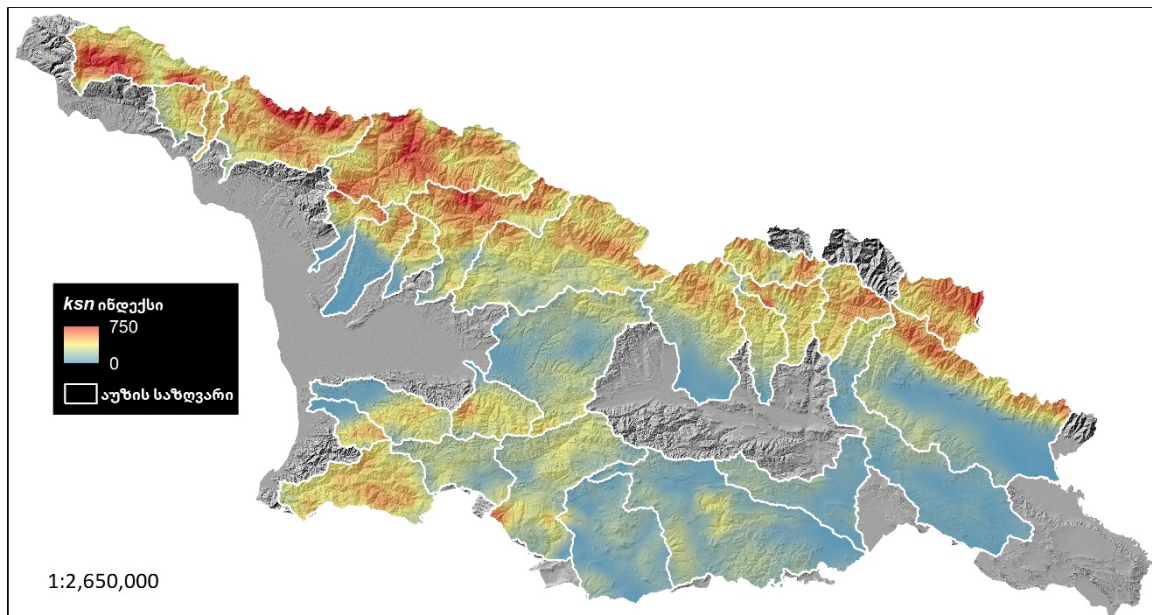
ცარცული და ნეოგენის ქვიშაქვები და ყვითლად - აღჩაგილ-აფშერონული კონგლომერატები (Sukhishvili et al. 2020).	34
ფიგურა 22: მძიმე მინერალების ანალიზების შედეგები. წითელი ისრებით აღნიშნულია ალგეთისთვის დამახასიათებელი ნიმუშები; ყვითელი ისრებით აღნიშნულია მტკვრისთვის დამახასიათებელი ნიმუშები; ნაცრისფრით - ხრამის, მაშავერას და დებედას (Suchodoletz et al. 2016).....	37
ფიგურა 23: ნაჩვენებია მდინარე მტკვრის მიგრაციები და სედიმენტების აკუმულაცია/ეროზიები 42 ათასი წლის წინიდან დღემდე (Suchodoletz et al. 2016).....	39
ფიგურა 24: ალაზნის ფაციესების დალექვის ეტაპების რეკონსტრუქცია (Sukhishvili et al. 2020).....	42
ფიგურა 25: ნაჩვენებია ჭრილების მდებარეობები. სედიმენტაციური ტერასები აღნიშნულია არაბული რიცხვებით, ხოლო ეროზიული - რომაულით (Suchodoletz et al. 2015).....	48
ფიგურა 26: ნაჩვენებია ჭრილების 1, 3 და 5-ის აგებულება, დათარიღების ადგილები და შედეგები, პალეო ნიადაგის ანალიზების დეტალები (Suchodoletz et al. 2015).	49
ფიგურა 27: 15 აკუმულაციურ და 2 ეროზიულ ტერასაზე ანალიზების შედეგების კომპილაცია მდინარე ალგეთის გასწვრივ (Suchodoletz et al. 2015).	50
ფიგურა 28: მდინარე ალგეთის ფლუვიალური ფაზები გვიან პლეისტოცენ- ჰოლოცენში (Suchodoletz et al. 2015).....	51

ცხრილების ჩამონათვალი

ცხრილი 1: განამარხების ასაკის დასადგენი ნიმუშების დეტალები (კოსმოგენური ნაწილაკების ანალიზით).	23
ცხრილი 2: ნაჩვენებია პალეო დინეების ანალიზის დეტალები.....	30

შესავალი

საქართველოს ტერიტორია განეკუთვნება კავკასიის სისტემას, რომელიც არაბეთი-ევრაზიის აქტიური კოლიზიის ზონის ჩრდილოეთ ნაწილში მდებარეობს. როგორც აზეების ფარდობით სიჩქარეებზე დამოკიდებული ტექტონიკურ-გეომორფოლოგიური ინდექსი გვაჩვენებს (ფიგურა 1), საქართველოს ტერიტორია კვლავაც საკმაოდ ინტენსიური დეფორმაციის ზონაა, რაც სეისმური (Godoladze et al., მზადების პროცესში) და გეოდეზიური (Reilinger et al. 2006, Sokhadze et al. 2018) მონაცემებითაც დასტურდება.



ფიგურა 1: კალაპოტის ციკაბოობის ინდექსი ცალკეული აუზების ფარგლებში (შერჩეულია 22 უმსხვილესი აუზი), გამოსახული 1 კმ-იანი უჯრედებით. ანალიზი განხორციელებულია 2021 წლის 4 იანვარს გამოქვეყნებული ALOS World 3D – 30m (AW3D30)-ის საფუძველზე.

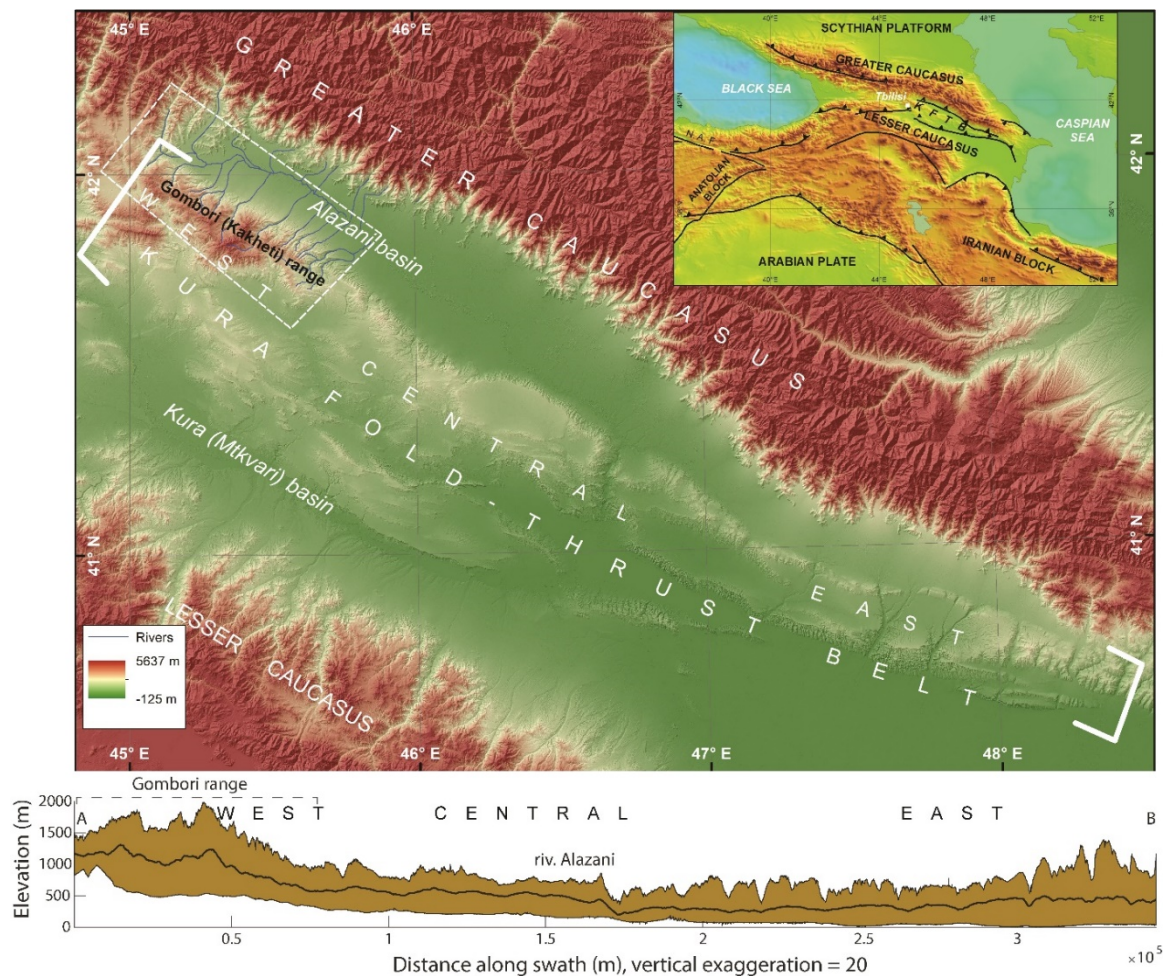
მეოთხეული პერიოდის განმავლობაში დედამიწაზე კლიმატი მრავალჯერ შეიცვალა, თუმცა გარდა გლობალური ცვლილებებისა, საქართველოს ტერიტორიაზე ტექტონიკური პროცესები და სხვა ფაქტორები მრავალი მიმართულებით ქმნიდნენ დინამიურ სისტემებს. მაგალითად, როგორც ცნობილია პლიოცენამდე ცენტრალური კავკასიონი არ წარმოადგენდა მნიშვნელოვან ტოპოგრაფიულ ბარიერს და მხოლოდ

პლიოცენში დაიწყო აქტიური აზევების პროცესი, (Avdeev და Niemi 2011) რომელიც როგორც ფიგურა 1-შია ნაჩვენები, დღემდე გრძელდება. სავარაუდოა, რომ ქვედა მეოთხეულში ცენტრალური კავკასიონი არ იქნებოდა დღევანდელივით 3-5 კმ-იანი ტოპოგრაფიული ბარიერი, რაც არამხოლოდ რეგიონული პალეო კლიმატის მიმართულებითაა მნიშვნელოვანი. საინტერესოა პონტოკასპიურ რეგიონში ჰომინიდების კვალი (მაგალითად დმანისის ჰომინიდის, რომლის ასაკად 1.8 მილიონი წელია დადგენილი (Blain et al. 2014) და მათი მიგრაციის თავისებურებები, რადგან მთლიანად რეგიონი მდებარეობს აფრიკის, ევროპისა და აზიის გზაჯვარედინზე და აქ მოხვედრილი ჰომინიდისთვის შემდგომი მიგრაცია მნიშვნელოვნად იქნებოდა დამოკიდებული ადგილობრივ პალეო რელიეფზე და ზოგადად პალეო ლანდშაფტზე. თუმცა, გეოლოგიურ წარსულში დაწყებული პროცესები მხოლოდ ჰომინიდებს ან ადამიანთა გადაშენებულ სახეობებს არ ეხება და თანამედროვე პრობლემებზეც საკმაოდ მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს, რაც გამოიხატება როგორც ბუნებრივი პირობების და საფრთხეების ფორმირებაში, ასევე ადამიანთა ეკონომიკურ და სხვა ტიპის საქმიანობაში.

მაგალითად, როცა საუბარია მდინარეებზე წყალდიდობების საფრთხის შეფასებაზე, წინა პლანზე გადმოდის ჰიდროლოგიური სადგურებიდან მოპოვებული დანაკვირვები მასალა და მონაცემთა რიგის სიდიდე. თუმცა აღნიშნული მონიტორინგი ძირითადად მაქსიმუმ ბოლო 1-2 საუკუნეა მიმდინარეობს რაც ბუნებრივია სრულად ვერ წარმოადგენს მდინარის სრულ პოტენციალს. ამ შემთხვევაში, მაგალითად ჰოლოცენში კონკრეტული მდინარის ან აუზის რეჟიმების დასადგენად ვიყენებთ გეომორფოლოგიურ მეთოდებს (იხილეთ ჩვენი შრომა Suchodoletz et al. 2018). შესაბამისად, თუ გვინტერესებს დღევანდელი ბუნებრივი პროცესების ახსნა, აუცილებელია გეოლოგიური წარსულის შესწავლა.

ზემოთნახსენები გეოდეზიური მონაცემებით ცნობილია, რომ საქართველოში არსებობს ქერქის გადაადგილების სიჩქარის გრადიენტი, კერძოდ უძრავად აღებული ევრაზიის ფილაქნის მიმართ კავკასია გადაადგილდება ამ ფილაქნის მიმართულებით, თუმცა გადაადგილების სიჩქარე მცირე კავკასიონის შემთხვევაში გაცილებით მეტია, ვიდრე ცენტრალური კავკასიონის. სიჩქარის კლება ხდება მთათაშუა ბარში, რის ფარგლებშიც ექცევა მაგალითად ქალაქები ხაშური, გორი, რუსთავი და დედაქალაქი

თბილისი. მათაშუა ბარში ქერქის გადაადგილების სიჩქარის გრადიენტი იმას ნიშნავს, რომ ენერგიის გამოთავისუფლება ხდება ქანების დანაოჭებაზე, რღვევებზე კრიპულ მოძრაობაზე ან/და სეისმურ დეფორმაციაზე - მიწისძვრაზე. ვინაიდან GPS ქერქის მხოლოდ ჰორიზონტულ გადაადგილებას ზომავს და შედეგები ფოკუსირებულია გაზომვებისდროინდელ სიტუაციაზე, მნიშვნელოვანია ვიცოდეთ დეფორმაციის დროითი და ვერტიკალური კომპონენტიც. ამიტომ, ჩვენი კვლევის ფარგლებში, შევარჩიეთ დედაქალაქ თბილისის ახლოს მდებარე აქტიური და კომპლექსური სტრუქტურა - მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყელი და კონკრეტულად მისი დასავლეთ სეგმენტი (ფიგურა 2). აღნიშნული სეგმენტის ჩრდილოეთი ნაწილი ცნობილია გომბორის ქედის სახელით (ლიტერატურაში გვხვდება კახეთის ქედის ტოპონიმითაც).



ფიგურა 2: მცირე რუკაზე ნაჩვენებია კავკასიის მდებარეობა და ძირითადი ტექტონიკური ერთეულები. ცენტრალურ რუკაზე ნაჩვენებია მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის მდებარეობა (დასავლეთ, ცენტრალურ და აღმოსავლეთ სეგმენტების განლაგება) მცირე

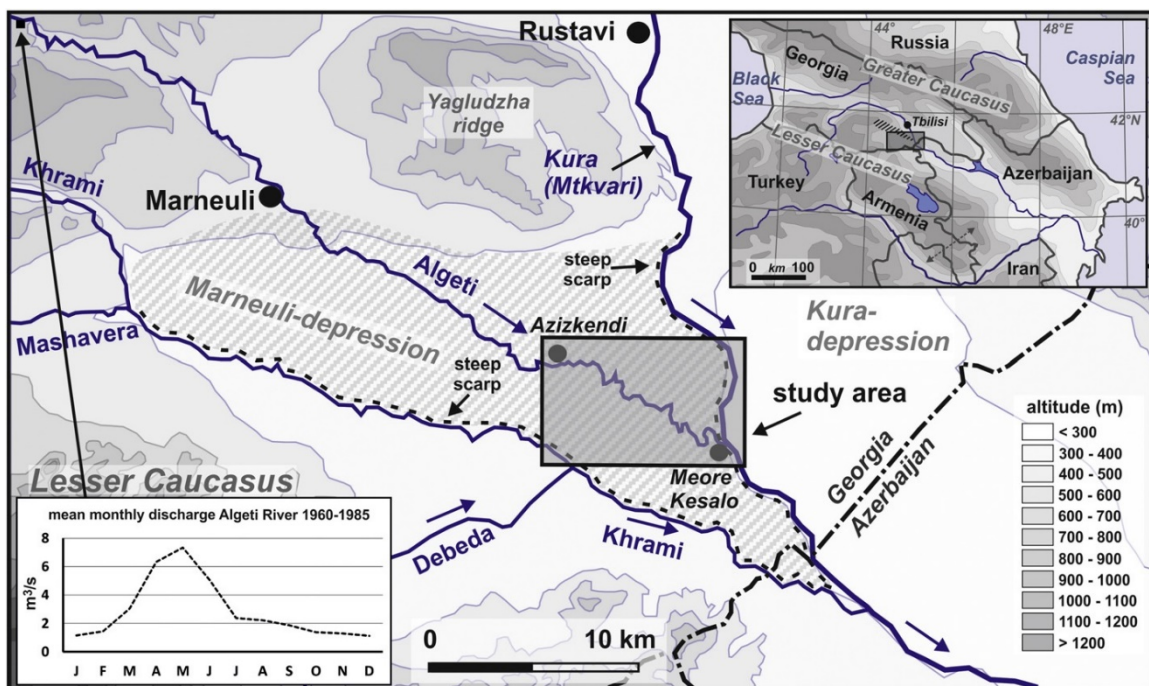
კავკასიონებს შორის, ასევე ალაზნის აუზი, გომბორის ქედი და მტკვრის აუზი. ფერებით კოდირებულია აბსოლუტური სიმაღლეები EGM 96-ის გეოიდის ნულიდან. ქვედა პროფილზე ნაჩვენებია მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის ვერტიკალური ტოპოგრაფიული ჭრილი 20-ჯერადი ამოზრდით (Sukhishvili et al. 2020).

გომბორის ქედის მიმართება ჩრდილო-დასავლეთ სამხრეთ-აღმოსავლეთისაა. საარქივო ანგარიშების მიხედვით (რასაც დეტალურად მომდევნო თავებში განვიხილავთ) ჩრდილო-აღმოსავლეთ (ცენტრალური კავკასიონის) მიმართულებით მოძრავი მდინარეების ფლუვიალურ ჭრილებში ცენტრალური კავკასიონისთვის დამახასიათებელი ქანებია ნაპოვნი. იმის გათვალისწინებით, რომ აღნიშნული ნალექები ამავე ანგარიშების მიხედვით პლიო-პლეისტოცენის პერიოდისაა, პალეო გარემოს საკმაოდ მნიშვნელოვან ცვლილებზე მიუთითებს. დეფორმაციის მასშტაბის აღსაქმელად, მნიშვნელოვანი ფაქტია, რომ ეს ფლუვიალური ნალექები გვხვდება როგორც მდინარე ალაზნის მარჯვენა არსებულ ტერასებზე (მინიმალურ აბსოლუტურ სიმაღლე 350 – 400 მეტრიდან), ისე ქედის უმაღლეს მწვერვალ ცივზე (1991 მეტრი). ბუნებრივია, დაახლოებით 1.5 კმ-იანი აზვეება მნიშვნელოვანი დეფორმაციაა, თუმცა ასევე მნიშვნელოვანია რა დრო დაჭირდა აღნიშნულს. ამიტომ, ჩვენი კვლევა ერთი მხრივ შეეხება დეფორმაციის ეტაპების აღდგენას და პალეო გარემოს მცირე რეკონსტრუქციას, ხოლო მეორე მხრივ იმ დროის პერიოდის დადგენას რის განმავლობაშიც აღნიშნული პროცესები მიმდინარეობდა.

თუმცა, ერთია რამდენად აქტიური იყო სისტემა გეოლოგიურად თუნდაც უახლოეს წარსულში, მაგრამ ანალოგიურად მნიშვნელოვანია დღესაც თუ მიმდინარეობს აღნიშნული დეფორმაციები და რა გავლენა აქვს მას თანამედროვე მდგომარეობაზე. ამის დასადგენად შევარჩიეთ გომბორის ქედის სამხრეთით არსებული მარნეულის დეპრესია, რომელიც მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სისტემის მეზობლად მდებარეობს. ვინაიდან ცვლილებებზე ერთ-ერთი ყველაზე სწრაფად მორეაგირე სისტემა მდინარეა, კვლევის მეთოდებად შევარჩიეთ ფლუვიალური ჭრილების სტრატეგრაფიული ანალიზი და მათი ამგები შრეების დათარიღება. როდესაც ორ მეზობელ რეგიონს (ჩვენს შემთხვევაში მარნეულის დეპრესიას და მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სისტემას) შორის მიმდინარეობს ვერტიკალური დეფორმაცია, ბუნებრივია ადგილობრივ მდინარეებს უწევთ ადაპტაცია, რაც პირველ რიგში კალაპოტების პროფილების და

მდებარეობის ცვლილებაში გამოიხატება. ამიტომ ჩვენი მოლოდინი და შესაძლებელი ჰიპოთეზა იყო სარტყელზე შუა მეოთხეულში არსებული აზევება რამდენად აქტიურია დღესაც და შესაბამისად, ხდება თუ არა დეპრესიაზე გამდინარე მდინარე მტკვრის კალაპოტის დასავლეთით მიგრაცია.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, მდინარეები და მათი ნალექები გარემოში მიმდინარე ცვლილებებზე საკმაოდ სენსიტიურად რეაგირებენ და ხშირ შემთხვევაში ამ ცვლილებების კვალს თავიანთ სედიმენტებში „ინახავენ“. შესაბამისად, თუ ამ სედიმენტებს განვიხილავთ როგორც ერთგვარ „არქივს“, მაშინ საშუალება გვექნება სედიმენტების შრეების დალექვისდროინდელი გარემოს შესახებ მივიღოთ ინფორმაცია. იმისთვის რომ დაგვედგინა რა პროცესები მიმდინარეობდა გვიან პლეისტოცენ-ჰოლოცენში სამხრეთ-აღმოსავლეთ საქართველოს ერთ უბანზე, გამოვიყენეთ მდინარე ალგეთის ფლუვიალური ჭრილები. მდინარე ალგეთი სათავეს მცირე კავკასიონზე იღებს და მდინარე მტკვარს მარნეულის დეპრესიაში უერთდება (ფიგურა 3).



ფიგურა 3: ნაჩვენებია საკვლევი არეალი, მარნეულის დეპრესიის და იალლუჯას ქედის მდებარეობა და ამ ტერიტორიაზე გამდინარე მდინარეები (Suchodoletz et al. 2015).

შესაბამისად, ალგეთის ფლუვიალური ჭრილების ანალიზმა და შრეების დათარიღებამ მოგვცა საშუალება აღგვედგინა მის აუზში მიმდინარე ბუნებრივი თუ ანთროპოგენური პროცესები გვიან პლეისტოცენიდან ჰოლოცენის ჩათვლით.

ამრიგად, საქართველოს რამდენიმე უბანზე, სხვადასხვა მეთოდებით განხორციელებული კვლევების საშუალებით შევეცადეთ მოგვეცა მეოთხეულის დასაწყისიდან ა.წ. მე-19 საუკუნემდე პერიოდის ეპიზოდები და აღგვედგინა შესაბამისი პალეო გარემო. მუშაობამ გვაჩვენა, რომ ჯერ კიდევ ბევრი კვლევა და სამუშაო გასაწევი, იმისთვის რომ მონაცემები დაზუსტდეს და უფრო მეტი სანდოობის ხარისხი შეიძინოს. ეს მნიშვნელოვანია რადგან გეოლოგიურ წარსულში, თუნდაც რამდენიმე მილიონი წლის წინ დაწყებულ პროცესებს, თანამედროვე საფრთხეების შეფასებაში საკმაოდ მნიშვნელოვანი როლი უჭირავს.

და ბოლოს, კვლევის შედეგად მიღებული მონაცემების დიდი ნაწილი გამოქვეყნებულია ჩვენი ჯგუფის შემდეგ სამი პუბლიკაციაში:

- Sukhishvili, L., Forte, A., Merebashvili, G., Leonard, J., Whipple, K., Javakhishvili, Z., Godoladze, T. (2020). Active deformation and Plio-Pleistocene fluvial reorganization of the western Kura fold–thrust belt, Georgia: Implications for the evolution of the Greater Caucasus Mountains. *Geological Magazine*, 1-15. doi:10.1017/S0016756820000709;
- von Suchodoletz, Hans, Gartner, Andreas, Hoth, Silvan, Um-lauft, Josefine, Sukhishvili, Lasha, Faust, Dominik, Late Pleistocene river migrations in response to thrust belt advance and sediment-flux steering — The Kura River (southern Caucasus), *Geomorphology* (2016), doi: 10.1016/j.geomorph.2016.04.026
- Hans von Suchodoletz, Martin Menz, Peter Kühn, Lasha Sukhishvili, Dominik Faust, Fluvial sediments of the Algeti River in southeastern Georgia — An archive of Late Quaternary landscape activity and stability in the Transcaucasian region, *CATENA*, Volume 130, 2015, Pages 95-107, ISSN 0341-8162, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.06.019>.

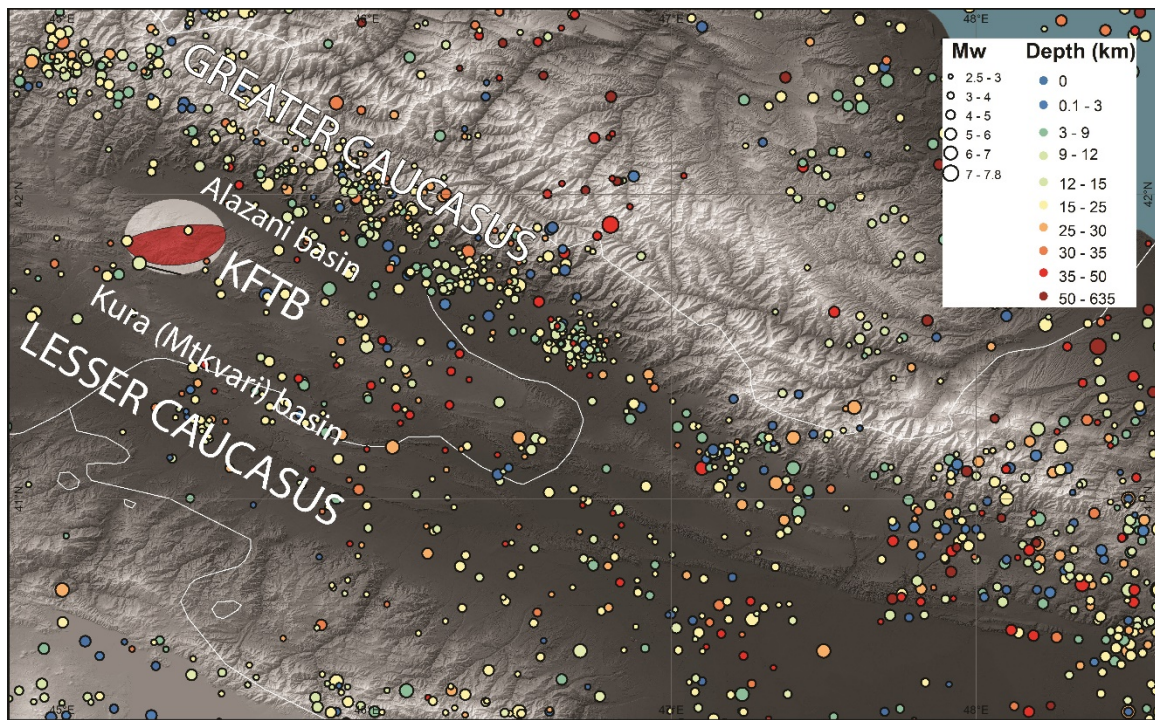
მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის და ლიტერატურის მიმოხილვა

კავკასია, არაბეთ-ევრაზიის კოლიზიური ზონის ჩრდილოეთ კიდეზე არსებული, კომპლექსური კუმშვითი ტექტონიკური სისტემაა (ფიგურა 2), რომელიც ძირითადად შეცოცებითი და შესხლეტიითი რღვევებითაა წარმოდგენილი (Onur et al. 2019). ბოლო კვლევების მიხედვით ცენტრალურ და მცირე კავკასიონს შორის არსებული კუმშვითი დეფორმაციის უდიდესი ნაწილი მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყელში აკუმულირდება (Forte et al. 2010 და 2013).

გვიან მიოცენში ცენტრალური კავკასიონის კუნძულთა რკალის უკანა აუზის დახურვამ და პლიოცენში სუბდუქციის კოლიზიით ჩანაცვლებამ, ცენტრალური კავკასიონის აზევება სწრაფ ფაზაში გადაიყვანა (Avdeev და Niemi 2011, Vincent et al. 2020). პლიო-პლეისტოცენიდან მოყოლებული, აღმოსავლეთ ცენტრალური

კავკასიონის კუმშვის დიდმა ნაწილმა სამხრეთით, მტკვრის ფორლანდში გადაინაცვლა და წარმოქმნა მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყელი (Forte et al. 2013).

გეოდეზიური გაზომვები (რომელსაც აღსანიშნავია, რომ დეტალური სურათისთვის არასაკმარისი სივრცითი რეზოლუცია აქვს) აჩვენებს, რომ ცენტრალურ და მცირე კავკასიონს შორის შეინიშნება მიმართების პარალელური, აღმოსავლეთის მიმართულებით სიჩქარული გრადიენტის ზრდა, რომელიც მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყელისთვის ~ 3 მმ/წელიდან 10 მმ/წლამდე იზრდება (Reilinger et al. 2006, Forte et al. 2014). Jackson-ის და McKenzie-ის (1988) და Jackson-ის (1992) მიერ გაანალიზებული აღმოსავლეთ თურქეთის და კავკასიის ძლიერი მიწისძვრების საფუძველზე გამოთქმულია ჰიპოთეზა, რომ კავკასია ძირითადად ასეისმურად, დანაოჭებით ან/და რღვევებზე კრიპებით უნდა დეფორმირდებოდეს. შესაბამისად, სქელი, ჭარბი წნევის პირობებში არსებული სედიმენტების დანაოჭება უნდა მიმდინარეობდეს ძლიერი მიწისძვრების გარეშე, იმ შემთხვევაშიც კი თუ დანაოჭება ფარული შესხლეტვების და შეცოცებების ზემოთ ხდება (Jackson 1992). თუმცა, მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სისტემის აზერბაიჯანის სეგმენტის კვლევამ აჩვენა, რომ მიმდინარე დეფორმაცია იმდენად ინტენსიურია, არაა გამორიცხული სარტყელის ფარგლებში სეისმური საფრთხის პოტენციალი არაჯეროვნად იყოს შეფასებული (Forte et al. 2010 და 2013, Mosar et al. 2010). აღსანიშნავია, რომ საქართველოს ერთიან სეისმურ კატალოგში, რომელიც მოიცავს 1900 – 2017 წლებს (ფიგურა 4), მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის ფარგლებში ფიქსირდება რამდენიმე 5.0 – 5.4 Mw მიწისძვრა (Godoladze et al., მზადების პროცესში) .

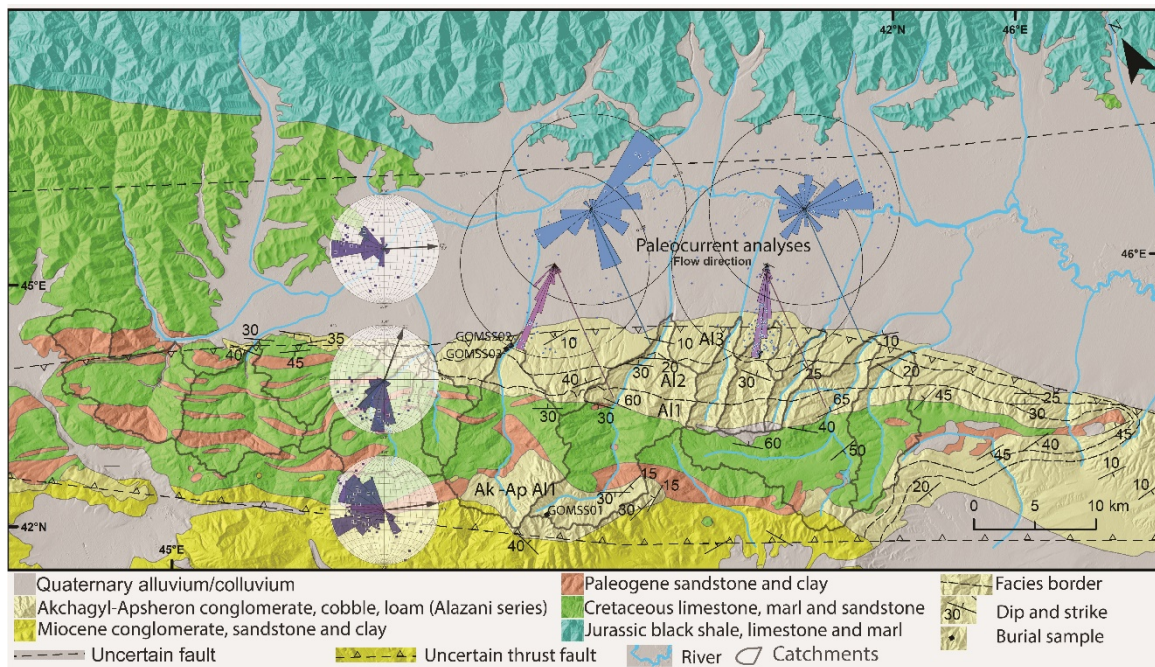


ფიგურა 4: ნაჩვენებია საკვლევ რეგიონში დაფიქსირებული მიწისძვრები. ფერებით კოდირებულია ჰიპოცენტრები (წითლისკენ მზარდი სიღრმით), და წერტილების დიამეტრი იზრდება M_w მაგნიტუდის ზრდის შესაბამისად (Onur et al. 2019). Tan და Taymaz (2006)-ის მიერ აგებულ რღვევის სიბრტყეზე გამოსახულია კომპრესიული რღვევის მექანიზმი (Sukhishvili et al. 2020).

Forte et al. (2010) -ის კვლევაში აღნიშნულია, რომ მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის დასავლეთ ნაწილის უფრო მაღალი რელიეფი, მიმართების მართობული სიგანე და ზედაპირზე უფრო ძველი სტრუქტურების გაშიშვლებების არსებობა, შესაძლოა აიხსნებოდეს აღმოსავლეთით ჯამური შეკუმშვის კლებით, დეფორმაციის დაწყების დროით ან ორივეთი ერთად. მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის სეისმური პროფილებსა და ჭაბურღილის მონაცემებში ზრდის ფენის (ინგ. Growth strata) ანალიზის მიხედვით კახეთის ქედის (იგივე გომბორის ქედი) ფორმირება დაიწყო პლიოცენში (Alania et al. 2017). რაც შეეხება სარტყლის აღმოსავლეთ ნაწილს, პრე და სინტექტონიკურ სტარტებს შორის საზღვრის ასაკად Forte et al.-ის (2013) მიერ მიჩნეულია 1.8 – 1.5 მილიონი წელი, ხოლო იგივე სეგმენტის უფრო მაღალი რეზოლუციით დათარიღებამ ზემოთხსენებული ასაკი 2.2 – 2.0 მილიონ წლამდე დააბეჭდა. ამ მონაცემების მიხედვით, მყარდება ჰიპოთეზა, რომელიც პირველად Forte et al.-მა 2010 წელს გამოთქვა, რომ მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყელის წარმოქმნა

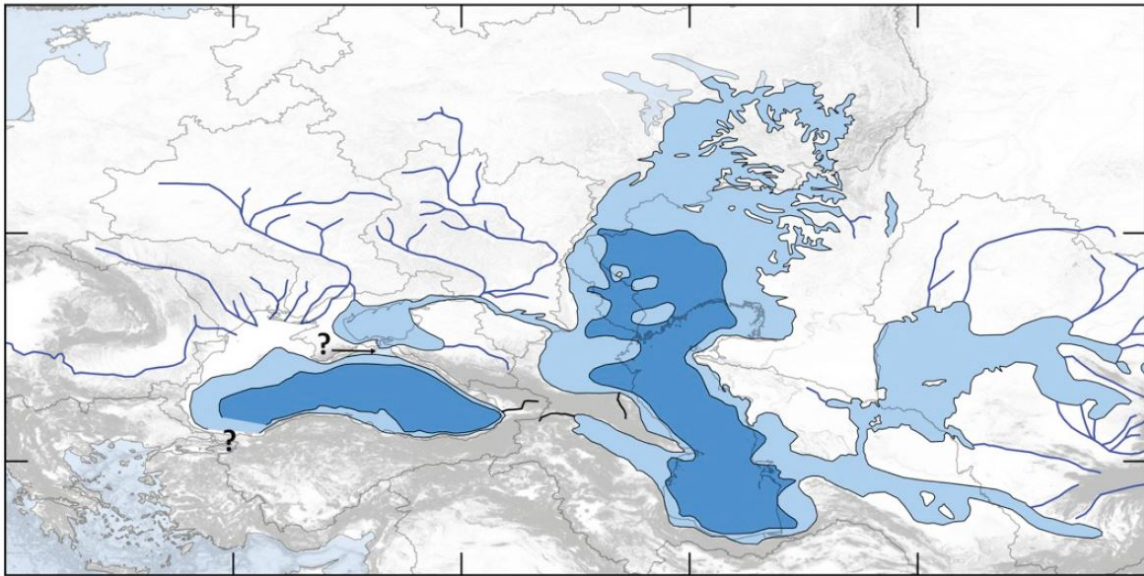
პირველად დასავლეთ სეგმენტზე დაიწყო და მოგვიანებით გავრცელდა აღმოსავლეთით.

მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სისტემის ჩრდილო-დასავლეთ კიდეზე წარმოდგენილია გომბორის ქედი, რომელიც ამავე დროს წარმოადგენს სისტემის უმაღლეს რელიეფს. ქედი აგებულია ქვედა და ზედა ცარცული, ეოცენის და ოლიგოცენის, მიოცენის, პლიო-პლეისტოცენის და მეოთხეული დანალექი ქანებით, რომლებიც, როგორც წესი, ერთმანეთზე კუთხური უთანხმოებითაა განლაგებული (ფიგურა 5). ვინაიდან ჩვენი ამოცანა მეოთხეული პერიოდის გარემოს რეკონსტრუქციაა, კვლევის ძირითადი ფოკუსი პლიო-პლეისტოცენის და უფრო ახალ, მეოთხეულ ნალექებზეა.



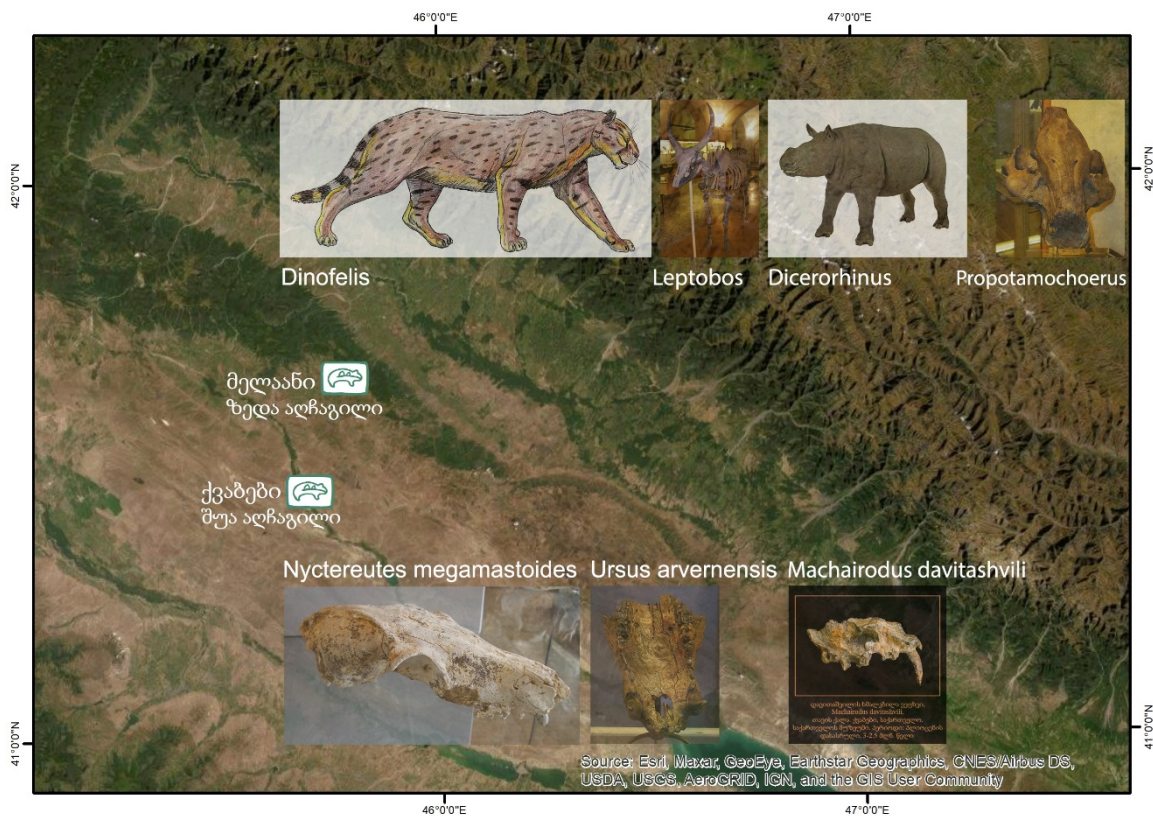
ფიგურა 5: ნაჩვენებია საკვლევი არეალის ზოგადი ლითოლოგია (შედგენილი საბჭოთა პერიოდის წყაროების მიხედვით). ლითოლოგიის ფერები მინიჭებულია საერთაშორისო სტრატиграფიული ცხრილის მიხედვით; დაშრელების ელემენტები საარქივო მონაცემების და ჩვენი სავლე გაზომვების მიხედვით; პალეო დინებების ანალიზის შედეგები, სადაც სვეტები დინებების მიმართულებებს აჩვენებს. ხოლო თეთრი ფონით გამოსახული შედეგები განეკუთვნება 2020 წლის ნოემბრის გაზომვებს, და ისრით ნაჩვენებია დინების დომინანტური მიმართულება. კონტურებიანი აუზები პირობითი ნომრებით გამოყენებულია ტექტონიკურ-გეომორფოლოგიურ ანალიზში. ეს ფიგურა გამოქვეყნებულია Sukhishvili et al. 2020-ში, ხოლო შევსებულია წინამდებარე ნაშრომში.

1912 წელს კასპიის ზღვის აღმოსავლეთით კრასნოვოდსკის ნახევარკუნძულზე (დღევანდელი თურქმენეთი) ანდრუსოვმა აღწერა ნალექები და გამოყო აღჩაგილის (მხარის სახელი) სართულად. აღჩაგილის განმავლობაში (გვიან პლიოცენი - ადრე პლეისტოცენი) მოხდა კასპიის ყველაზე დიდი ტრანსგრესია, რის შედეგადაც კასპიის ნაპირებმა მიაღწია ვოლგის შუა წელს და სამხრეთ ურალს ჩრდილოეთით, აზოვის ზღვას დასავლეთით და არალის ზღვას აღმოსავლეთით. შედეგად, მანიჩის სრუტის საშუალებით კასპიის ზღვა დაუკავშირდა აზოვის და შავ ზღვებს (Krijgsman et al. 2019).



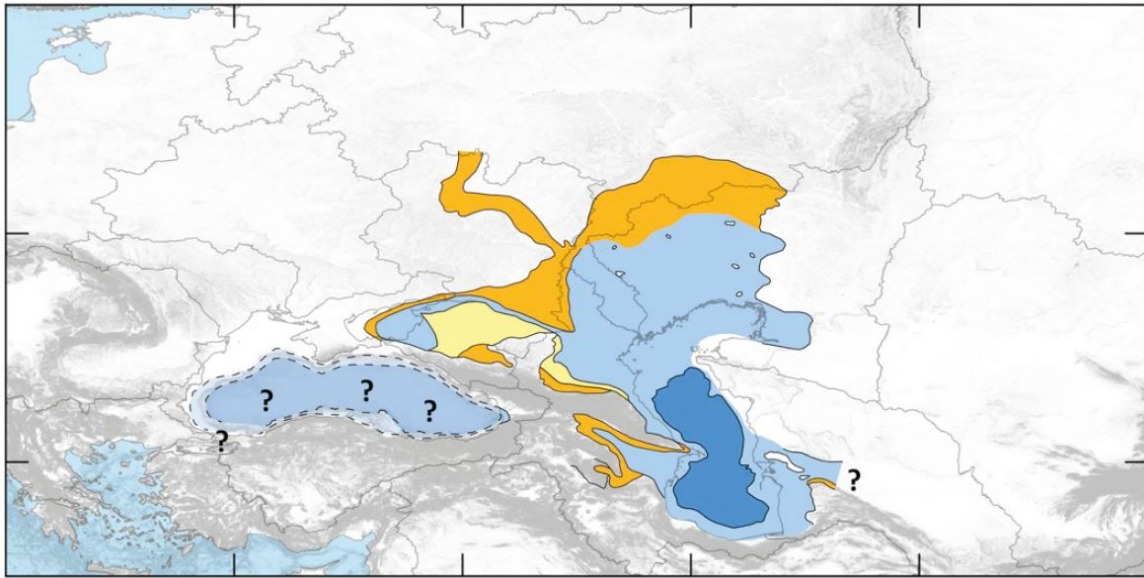
ფიგურა 6: ნაჩვენებია აღჩაგილის სართულში, გვიან პლიოცენში (დაახლოებით 2.6 მილიონის წლის წინ) პონტოკასპიურ რეგიონში ტრანსგრესიის საზღვრები. რუკა აღებულია Krijgsman et al. 2019-დან.

მიუხედავად იმისა, რომ აღჩაგილის სართული მსხვილი ტრანსგრესიით და ტრანსგრესიათა სერიითაა ცნობილი, და როგორც წესი, სედიმენტები ზღვიურ გარემოშია დალექილი (Jones and Simmons 1996), ამ პერიოდის ნალექები გომბორის ქედზე მხოლოდ ფლუვიალური სედიმენტებითაა წარმოდგენილი. ნალექების კონტინენტურ წარმომავლობას დამატებით მოწმობს ხმელეთისთვის დამახასიათებელი პალეონტოლოგიური ნამარხები, რომლებიც გომბორის ქედის სამხრეთ ფერდზე (მელაანში) და კიდევ უფრო სამხრეთით, მდინარე იორის მარცხენა ნაპირზე, მთა ქვაბებზეა ნაპოვნი (Chkhikvadze et al. 2000).



ფიგურა 7: ნაჩვენებია პალეონტოლოგიური ნამარხების პოვნის ადგილები და სახეობების ჩამონათვალი (Chkhikvadze et al. 2000). სახეობების გამოსახულებები დაცულია Creative Common Share and Adapt ტიპის ლიცენზიით.

ბაქოსთან ახლოს, აფშერონის ნახევარკუნძულზე აღწერილი გამიშვლების საფუძველზე გამოყოფილია აფშერონის სახელით ცნობილი სართული, რომელიც ქვედა და შუა პლეისტოცენის ეპოქას შეესაბამება. ამ ადგილას აფშერონული ნალექები კუთხური თანხმობითაა განლაგებული ალჩაგილურზე, თუმცა მასზე ბაქოური სართული კუთხური უთანხმოებითაა წარმოდგენილი. აფშერონის სართულისთვის დამახასიათებელია რეგრესია, შესაბამისად ალჩაგილურთან შედარებით, კასპიის ზღვის გავრცელების ფართობი შემცირდა. აღნიშნული ცვლილებების გამო, მანიჩის სრუტე „დაიხურა“ და კასპიის აუზი კვლავ იზოლირებულ სისტემად იქცა. კასპიის ზღვის დონის კლების გამო, ზღვის თავთხელი უბნები ფლუვიალურ და სანაპირო ვაკეებად გადაიქცა. შედეგად, აფშერონის სართული უფრო ხშირად კონტინენტური ნალექებით წარმოდგენილი (Krijgsman et al. 2019).



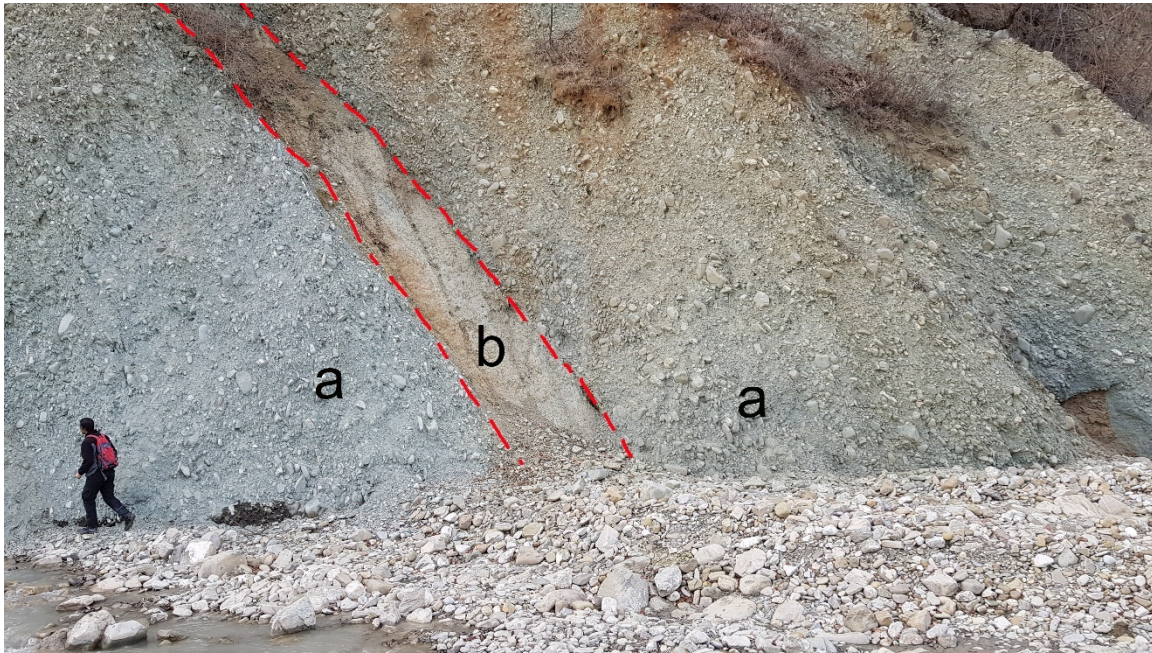
ფიგურა 8: ნაჩვენებია აფშერონის სართულში, ადრე პლეისტოცენი (დაახლოებით 1-2 მილიონი წლის წინ) პონტოკასპიურ რეგიონში რეგრესიის შედეგები. ნარინჯისფრად ნაჩვენებია ფლუვიალური ვაკეები, ხოლო ყვითლად - სანაპირო ვაკეები. რუკა აღებულია Krijgsman et al. 2019-დან.

არსებული საარქივო შრომები (Kereselidze, 1950, Buachidze et al., 1950, Buachidze et al., 1952 და Sidorenko & Gamkrelidze, 1964) გომბორის ქედის აღჩაგილ-აფშერონულ ნალექებს მიაკუთვნებს ალაზნის სერიას და ჰყოფს სამ ფაციესად - ქვედა, შუა და ზედად, რომლებსაც ამ ნაშრომში შესაბამისად ალაზანი 1-ს, ალაზანი 2-ს და ალაზანი 3-ს ვუწოდებთ.

გომბორის ქედზე ალაზანი 1, 2 და 3-ის ფაციესები კუთხური უთანხმოებითაა განლაგებული ერთმანეთზე და მათ ქვეშ მდებარე ნეოგენის, პალეოგენის და ცარცულ ნალექებზე. საველე გაზომვებმა გვაჩვენა, რომ ალაზანი 1-ის დახრის კუთხე $50-60^\circ$, ალაზანი 2-ის - $20-30^\circ$, ხოლო ალაზანი 3-ის - $5-15^\circ$ -ია. დახრის კუთხეების ძველიდან ახალი ფაციესისკენ კლება დეფორმაციის სინტექტონიკურობაზე უნდა მიაწინებდეს (Sukhishvili et al. 2020).

ქვედა, ალაზანი 1-ის ფაციესი წარმოდგენილია კარგადშეცემენტებული კონგლომერატებით, 0.2 – 1.5 მეტრიანი თიხის ლინზებით. ფაციესის სისქე 700-1200 მეტრია. ალაზანი 1-ის საგებზე გვხვდება მოლურჯო შეფერილობის კონგლომერატები (ფიგურა 9). კონგლომერატებში რიყის ქვების (cobble) ყველაზე გრძელი ღერძის ზომა

მერყეობის 10 – 15 სმ-ს შორის და უმეტესად წარმოადგენს ქვიშაქვას, შავ თიხაფიქალს, კირქვას და მერგელს (Buachidze et al. 1950).



ფიგურა 9: ალაზანი 1-ის ფაციესის საგები მდ. კისისხევის ხეობიდან. ფოტო გადაღებულია ჩრდილო-დასავლეთ მიმართულებით და ასახავს კონგლომერატების (a) ციცაბო, ჩრდილო-აღმოსავლეთ დაქანებას. b-თი აღნიშნულია ლამის შრე (Sukhishvili et al. 2020).

ალაზანი 1-ზე განლაგებული ალაზანი 2 ძირითადად ლამით და თიხითაა წარმოდგენილი, თუმცა გვხვდება რიყის ქვების და კონგლომერატების ჩანართებიც. აღნიშნული ფაციესის მაქსიმალური სისქე დაახლოებით 500 მეტრია, მაგრამ სამხრეთ-აღმოსავლეთ მიმართულებით 50 მეტრამდე მცირდება (Buachidze, et al. 1952). 2019 წელს საველე სამუშაოებისას აღნიშნულ ფაციესში ჩვენს მიერ მიკვლეულ იქნა ვულკანური ფერფლის თხელი შრე (ფიგურა 10). ვთვლით რომ ამ ფერფლის ნიმუშის ანალიზი მომავალში მნიშვნელოვან ინფორმაციას მოგვცემს ფაციესის დათარიღების და ტექტონიკური ევოლუციის სურათის სრულყოფაში, თუმცა ამ ეტაპზე, ობიექტური მიზეზების გამო, მისი ანალიზი ვერ განვახორციელეთ.



ფიგურა 10: ნაჩვენებია მდ. ფაფრისხევის ხეობაში მიკვლეული ჩრდილო-აღმოსავლეთით დახრილი ვულკანური ფერფლი (Sukhishvili et al. 2020).

უახლესი, ალაზანი 3-ის ფაციესი, კვლავ აგებულია კონგლომერატებით, თუმცა გვხვდება ლამის და თიხის შრეებიც. ზოგიერთი ანგარიშის მიხედვით (მაგ. Kereselidze 1950) მდინარეების თურდოსა და კისისხევის გაშიშვლებების ლამის შრეებში გაიდევნება 0.4 მეტრი სისქის ვულკანური ფერფლი, თუმცა ჩვენმა ჯგუფმა აღნიშნულს ჯერჯერობით ვერ მიაკვლია. ალაზანი 3-ის სისქე მაქსიმუმ 250 მეტრია.

ცალკე აღსანიშნავია გომბორის ქედის თხემურ ნაწილზე არსებული, კონგლომერატებით აგებული, იზოლირებული „კუნძული“ (რომლითაც აგებულია ქედის უმაღლესი მწვერვალი ცივი), რომელიც ამ ნაშრომში გამოყენებული საბჭოთა გეოლოგიური ანგარიშების და რუკების მიხედვით აღჩაგილ-აფშერონული ნალექებია, თუმცა არაა დაკონკრეტებული რომელ ფაციესს (შესაბამისად ასაკს) განეკუთვნება. ის ფაქტი, რომ აგებულებაში დომინირებს კონგლომერატები, გვაფიქრებინებს, რომ ე.წ. კუნძული ალაზანი 1-ს ან ალაზანი 3-ს უნდა განეკუთვნებოდეს.

ალაზანი 1-ის და ალაზანი 2-ის შედგენილობა (მაგალითად შავი თიხაფიქლები) რამდენიმე წყაროს (მაგალითად Buachidze et al. 1950 და Sidorenko and Gamkrelidze 1964) აფიქრებინებს რომ სედიმენტები ცენტრალური კავკასიონიდან უნდა მომდინარეობდნენ.

კვლევის მეთოდები

როგორც მიმოხილვიდან ჩანს, მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყელი ახალგაზრდა და საკმაოდ დინამიური სტრუქტურაა, რაც გეოლოგიურად ახლო წარსულში გარკვეულწილად განსხვავებულ ოროგრაფიულ, ჰიდროგრაფიულ და ზოგადად ლანდშაფტურ გარემოს უნდა გულისხმობდეს. აღნიშნული პალეო გარემოს რეკონსტრუქციისთვის მრავალი განსხვავებული, საოფისე, საველე და ლაბორატორიული მეთოდის გამოყენება გახდა საჭირო.

გომბორის ქედის შემთხვევაში მის ჩრდილოეთ ფერდზე შეირჩა 12 შედარებით დიდი მდინარის აუზი (ფართობით 14 – 108 კმ²), სადაც აუზების ზომისა და მათში არსებული გაშიშვლებების გამო კვლევისთვის მნიშვნელოვანი ინფორმაციის მიღება უნდა ყოფილიყო შესაძლებელი (ფიგურა 5).

პალეო დინებების ანალიზი

გომბორის ქედის ჩრდილოეთ ფერდზე დღეს არსებული მდინარეები ჩრდილო-ჩრდილო აღმოსავლეთის მიმართულებით მიედინებიან და ალაზნის ველზე ერთვებიან ცენტრალური კავკასიონიდან მომდინარე მდინარე ალაზანს. თუმცა, როგორც მიმოხილვაშიც იყო ნახსენები, ალაზანი 1 და ალაზანი 2-ის ფაციესებში გვხვდება ცენტრალური კავკასიონისთვის დამახასიათებელი ქანები, რაც იმას გულისხმობს რომ ისინი პირველად თანამედროვე მდინარეების დალექილი არ უნდა იყოს. ამ ინფორმაციის შესამოწმებლად და გარკვეული დინამიკის დასაფიქსირებლად გამოვიყენეთ პალეო დინებების ანალიზი.

ფლუვიალური ტერასების (მაგალითად მიტოვებული ჭალების) ამგები მსხვილმარცვლოვანი კლასტების განლაგების ანალიზს საკმაოდ სანდო ინფორმაციის მოწოდება შეუძლია მათი დამლექავი ნაკადის დინების მიმართულებასა და ტექტონიკურ ევოლუციაზე (Miao et al. 2008, Nichols 2009).

ალაზნის სერიის ფაციესებზე პალეო დინებების ანალიზის განსახორციელებლად, მიდგომადობის და გაშიშვლებების ხარისხის გათვალისწინებით, შეირჩა მე-6, მე-7 და მე-11 აუზები. სამივე აუზში ალაზანი 1 და ალაზანი 3-ის ფაციესებში სულ გაიზომა 383 კლასტი (ფიგურა 11). გაზომვები ვერ განხორციელდა ალაზანი 2-ის ფაციესზე, რადგან ის ძირითადად ლამისგანაა აგებული. მე-7 და მე-11 აუზებში გაზომვები განხორციელდა Brunton-ის კომპასის, ხოლო მე-6 აუზში პროგრამა Fieldmove Clino-ს საშუალებით. დაშრევების გათვალისწინებით კორექციისა და შემდგომი დამუშავებისთვის გამოვიყენეთ პროგრამა Stereonet 10 (Allmendinger et al. 2011).

პალეო დინებების ანალიზით გვინდოდა დაგვედგინა ხომ არ მომხდარა დინებების მიმართულების ცვლილება და მაშასადამე ნაკადების რეორგანიზაცია ალაზნის სერიის შესაძლო სინტექტონიკური სედიმენტების დალექვისას და ხომ არ მომხდარა ეს ცვლილებები აუზებს შორის განსხვავებულ დროს.



ფიგურა 11: პალეო დინებების ანალიზისთვის კლასტების გაზომვის პროცესი.

ტექტონიკურ-გეომორფოლოგიური მეთოდები

ტოპოგრაფია წარმოადგენს ერთგვარ ბალანსს ტექტონიკით გამოწვეულ ქანის აზევებას, ეროზიას და დალექვას შორის, სადაც გავლენა აქვს კლიმატს და მის

ცვლილებას და ლითოლოგიას. კლიმატური და ლითოლოგიური თავისებურებების გათვალისწინების შემთხვევაში, რაოდენობრივი გეომორფოლოგიური ანალიზის საშუალებით შესაძლებელია აუზებს შორის აზევების ფარდობითი სიჩქარეების განსხვავებების დაფიქსირება (მაგალითებისთვის იხილეთ Kirby და Whipple 2001, 2012, Wobus et al. 2006, Dibiase et al. 2010, Whittaker 2012, Whittaker და Boulton 2012, Rossi et al. 2017, Gallen და Wegmann 2017). ასევე, მნიშვნელოვანი მონაცემების არქონის შემთხვევაში, მაგალითად როგორიცაა მჭიდრო გეოდეზიური ქსელი, პალეოსეისმური მონაცემები და სხვა, ტექტონიკური გეომორფოლოგიის საშუალებით შესაძლებელია აქტიური ტექტონიკის არეალების იდენტიფიცირება (Kirby et al. 2003).

გომბორის ქედზე ტექტონიკური აქტივობების შესაფასებლად, დავითვალეთ რამდენიმე მორფომეტრული პარამეტრი (მათ შორის კალაპოტის ნორმალიზებული ციცაბოობის ინდექსის (ინგლისურად Normalized channel steepness index) (k_{sn}), აუზებზე გასაშუალოებული ნორმალიზებული ციცაბოობის ინდექსის, აუზებზე გასაშუალოებული ფერდობების დახრის გრადიენტი (S_{avg}), აუზების ფერდობების საშუალო დახრა და აუზების საშუალო ფარდობითი სიმაღლეები 1კმ-იან რადიუსებში). ანალიზი განხორციელდა Topographic Analysis Kit (TAK) -ის (Forte და Whipple 2018), Topotoolbox - ის (Schwanghart და Scherler 2014), QGIS-ის, ArcMap-ის და ALOS AW3D30 ციფრული სასიმაღლო მოდელის (DEM) გამოყენებით. აღნიშნული DEM წარმოადგენს იაპონიის აეროკოსმოსური კვლევის სააგენტოს (JAXA) პროდუქტს და გააჩნია ~30 მეტრიანი სივრცული რეზოლუცია.

ვინაიდან რამდენიმე ინდექსი შექმნილია ძირითად ქანზე მომდინარე მდინარეებისთვის აუზებისთვის, ხელოვნური ჩარევით გამოვრიცხეთ მდინარეების აკუმულაციური ზონები (ხშირად ქვედა დინებები) და ანალიზში გამოვიყენეთ მხოლოდ ზედა დინებები (ფიგურა 12). აღნიშნულმა ჩარევამ ასევე გამორიცხა ხელოვნურად შეცვლილი რელიეფები და სოფლის მეურნეობის გავლენით გარდაქმნილი ზონები.

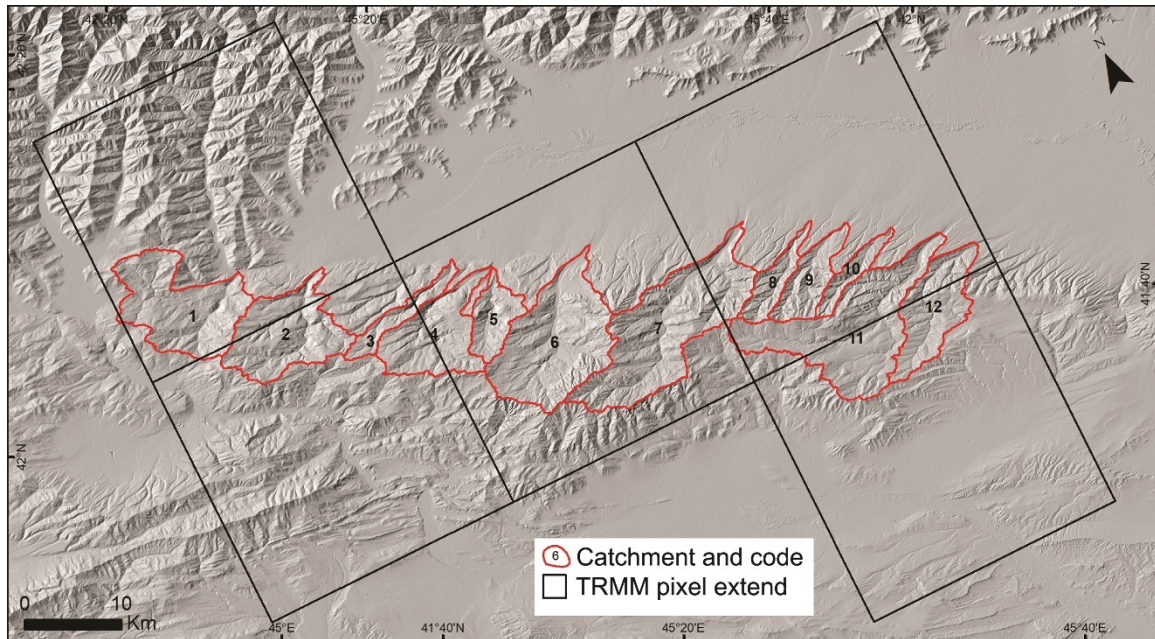


ფიგურა 12: ნაჩვენებია მდ. ჭერმისხევის კალაპოტი, რომლის ნაწილი წარმოდგენილია ძირითადი ქანით, ხოლო მეორე ნაწილზე გვხვდება აკუმულაციური მასალა. Kst ინდექსის დათვლისას, ასეთი კალაპოტები კლასიფიცირება ძირითადი ქანის კალაპოტებად (აკუმულაციური უბნის იგნორირება დასაშვებია). შესაბამისად, აკუმულაციურად ვთვლით მხოლოდ ისეთ კალაპოტს რომელიც სტაბილურად დაფარულია აკუმულაციური ფენით და ძირითადი ქანი არ შეინიშნება.

აქტიური დეფორმაციის ზონებში ტოპოგრაფია მხოლოდ აზევების სიჩქარეზე არაა დამოკიდებული, ამიტომ ყურადღება უნდა დაეთმოს ატმოსფერული ნალექების სივრცულ განაწილებასაც (Kirby და Whipple 2012). შესაბამისად, რეგიონებში სადაც ატმოსფერული ნალექების განაწილებას მნიშვნელოვნად აკონტროლებს ოროგრაფიული ფაქტორები, მდინარეების ჩამონადენის გავლენა კალაპოტის პროფილის ფორმასა და ეროზიის სიჩქარეზე ყურადღებით უნდა იქნას შეფასებული (Bookhagen და Strecker 2012).

საკვლევ 12 აუზს შორის ატმოსფერული ნალექების რაოდენობის განსხვავების შესაფასებლად გამოვიყენეთ Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) 3B42 V7 - ის ყოველდღიური სატელიტური მონაცემები 1998-დან 2017 წლამდე (7600-ზე მეტი ფაილი). TRMM-ის მონაცემები აგებულია 30 კმ-იანი პიქსელებით და საკმაოდ კარგადაა გამოცდილი ტექტონიკურ - გეომორფოლოგიურ კვლევებში, მათ შორის კავკასიაში (Forte et al. 2016) და ანდებში (Bookhagen და Strecker 2008). შერჩეული 12

აუზის დაფარვას სულ 5 TRMM-ის პიქსელი დასჭირდა (ფიგურა 13) (Sukhishvili et al. 2020).



ფიგურა 13: ნაჩვენებია TRMM-ის პიქსელების მდებარეობა, საკვლევი აუზების განლაგება და ნუმერაცია (Sukhishvili et al. 2020).

ატმოსფერული ნალექების მსგავსად, ტოპოგრაფიაზე გავლენა აქვს ლითოლოგიას და შესაბამისად ეროზიისადმი განსხვავებულ მედეგობას, რადგან ამ მონაცემმა შემდგომში შესაძლოა ტექტონიკური აქტივობის შეფასებისას შეცდომაში შეგვიყვანოს (Mitchell და Yanites 2019). ამიტომ წინასწარ მოხდა ლითოლოგიური კონტაქტების და აუზში დომინანტი ქანის ტიპების იდენტიფიცირება (მათ შორის ქანების გამოფიტვის დონის მიხედვით, რასაც ყურადღება საველე სამუშაოებისას ექცეოდა) და სხვადასხვა ტოპოგრაფიულ ინდექსთან კორელაციების საშუალებით ლითოლოგიური ფაქტორის გავლენის განსაზღვრა.

კალაპოტის ნორმალიზებული ციკაბოობის ინდექსი საკმაოდ მნიშვნელოვანი ტოპოგრაფიული საზომია და გამოიყენება აქტიურ ქედებზე ქანების ფარდობითი აზეცების დასაფიქსირებლად (Dibiase et al. 2010).

ჩვეულებრივი მდინარის სიგრძივი პროფილი ჩაზნექილი ფორმისაა და აღიწერება ემპირიულად დადგენილი ურთიერთდამოკიდებულებით ფერდობსა და წყალშემკრებ ფართობს შორის:

$$k_{sn} = \frac{S}{A^{-\theta}}$$

სადაც k_{sn} არის კალაპოტის ნორმალიზებული ციცაბოობის ინდექსი, S - ფერდობის დახრა, A - მოცემული წერტილიდან ზემოთ წყალშემკრები აუზი და θ - კალაპოტის ჩაზნექილობის ინდექსი (Flint 1974). მრავალმა კვლევამ აჩვენა, რომ მიუხედავად აზვების სიჩქარისა, უმეტეს კალაპოტს გააჩნია მსგავსი ჩაზნექილობა (Snyder et al. 2000, Whipple 2004), რაც იმას ნიშნავს რომ θ ინდექსი არასენსიტიურია აზვების სხვადასხვა სიჩქარის მიმართ. მისგან განსხვავებულ შედეგებს იძლევა k_{sn} , რადგან გამოჩნდა რომ მისი მაჩვენებელი დამოკიდებულია ფარდობითი აზვების სიჩქარეებზე და შესაბამისად ტექტონიკურ-გეომორფოლოგიური კვლევებისთვის გამოსადეგი საზომია (Kirby და Whipple 2012).

როგორც ზემოთაა აღნიშნული, ჩვენს კვლევაში გამოვიყენეთ კალაპოტის ნორმალიზებული ციცაბოობის ინდექსი, რადგან ნორმალიზება საშუალებას გვაძლევს სხვადასხვა ნაკადების ან აუზების ინდექსები ერთმანეთთან შედარებადი გახდეს. გამოცდილებამ აჩვენა, რომ მთის მდინარეების უმეტესობის ნორმალიზებისთვის საკმაოდ კარგად მუშაობს $\theta_{ref} = 0.4 - 0.5$ (Kirby და Whipple 2012), ამიტომ გომბორის ქედის მდინარეთა აუზების შემთხვევაში θ_{ref} -ად გამოვიყენეთ 0.5.

კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი ტოპოგრაფიული საზომი, რომელიც მნიშვნელოვან ინფორმაციას იძლევა აუზების ტექტონიკის შესახებ არის ფარდობითი რელიეფი. ფარდობითი რელიეფი, რომელიც წარმოადგენს გარკვეულ დისტანციაზე სიმაღლის სხვაობას, საკმაოდ კარგ კორელაციაშია ეროზიის სიჩქარესთან (Ahnert 1970, Montgomery და Brandon 2002, Kirby et al. 2003, Dibiase et al. 2010), რაც თავის მხრივ კარგად კორელირებს ქანების აზვების სიჩქარესთან (Kirby და Whipple 2001, Lague 2014).

გ. კოსმოგენური ნუკლიდების განამარხების ასაკის დათარიღება და მოდელირება

ალაზნის სერიის სედიმენტების დათარიღებისთვის, მათი სავარაუდო ასაკიდან გამომდინარე, გამოვიყენეთ კოსმოგენური ნუკლიდების განამარხების ასაკის დათარიღების მეთოდი, რის საშუალებითაც გვინდოდა გომბორის ქედის აზვების დასაწყისის ასაკის დადგენა. ტერესტრული კოსმოგენური ნუკლიდები (TCN), როგორებიცაა ^{10}Be და ^{26}Al , იმ მეორეული ნაწილაკებისგან წარმოიქმნებიან, რომლებიც

ატმოსფეროში კოსმოსური სხივების და დედამიწური წარმოშობის მასალების ურთიერთქმედების პროდუქტია (Gosse და Philips 2001). დედამიწაზე TCN-ების დაგროვება არის ზედაპირზე დების ხანგრძლივობის, შემდგომში განამარხების სიღრმის, ზედაპირის ეროზიის სიჩქარის და იმ იზოტოპის წარმოქმნის ტემპის ფუნქცია, რომელიც განედზე და სიმაღლეზეა დამოკიდებული. ველზე ნიმუშების აღებისას გასათვალისწინებელია, რომ TCN-ების წარმოქმნა წყდება ზედაპირიდან 1-3 მეტრამდე სიღრმეში, შესაბამისად ეროზირებულ და დალექილ სედიმენტებში კოსმოგენური ნუკლიდების რაოდენობა წარმოადგენს პალეო ეროზიის სიჩქარის და განამარხების ასაკის შესახებ მნიშვნელოვან „ჩანაწერს“ (Granger et al. 1997, Granger და Muzikar 2001, Granger 2006). რადგან განამარხებამდელი ისტორია და განამარხების ასაკი უცნობია, აუცილებელია ორი სხვადასხვა TCN-ის (განსხვავებული ნახევრად დაშლის პერიოდებით) კონცენტრაციის გაზომვა, რაც ჩვენს შემთხვევაში არის ^{10}Be და ^{26}Al . ამ პროცესში ხდება დაშვება, რომ სედიმენტების განამარხება მოხდა და განამარხების შემდეგ TCN-ების წარმოქმნა შეწყდა მყისიერად და ასე გაგრძელდა იქამდე სანამ არ მოხდა ნიმუშების აღება (Granger et al. 1997).

გამომდინარე ბიუჯეტიდან, კვლევის ფარგლებში მოხდა სამი ნიმუშის აღება და ანალიზი, აქედან ორი ნიმუში ავიღეთ ალაზანი 3-ის ფაციესიდან და ერთ ნიმუში - ქედის თხემურ ნაწილში არსებული იმ კითხვის ნიშნის ქვეშ მყოფი „კუნძულიდან“, რომელზეც ზემოთ იყო საუბარი. იმის გათვალისწინებით, რომ სედიმენტებში კვარცის დაბალი კონცენტრაციაა, ალაზანი 3-ის ფაციესიდან ნიმუშების აღება მოხდა ორი სხვადასხვა ლოკაციიდან (ცხრილი 1).

ნიმუშის დასახელება	ნიმუშის აღების თარიღი	მდებარეობა	სიმაღლე (მ)	ფაციესი
				ალაზანი 1 ან
GOMSS01	26.04.2017	41.80815, 45.34789	1831	ალაზანი 3
GOMSS02	09.03.2017	41.92953, 45.40144	749	ალაზანი 3
GOMSS03	09.03.2017	41.928925, 45.395784	768	ალაზანი 3

ცხრილი 1: განამარხების ასაკის დასადგენი ნიმუშების დეტალები (კოსმოგენური ნაწილაკების ანალიზით).



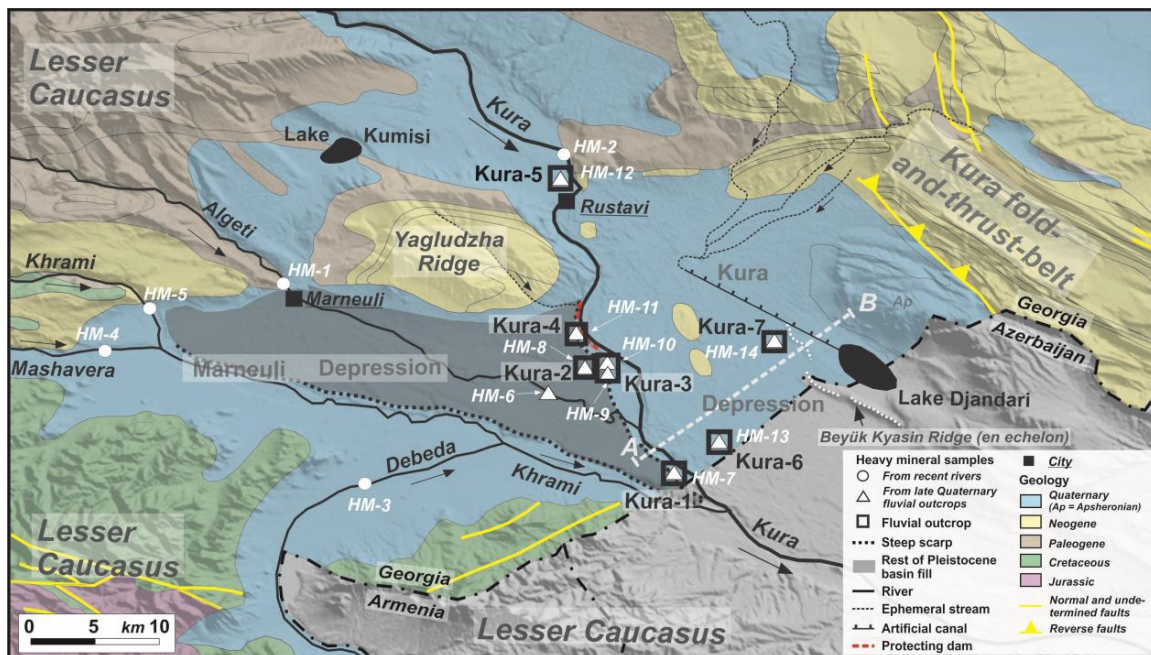
ფიგურა 14: ნაჩვენებია გომბორის ქედის თხემურ ნაწილში არსებული აღზავილ-აფშერონული ნალექების „კუნძული“. ზედა მარცხენა ფოტო: სირთულეები ნიმუშის აღების პროცესში; ქვედა მარცხენა ფოტო: ასახულია ნალექების ჭრილი; მარჯვენა ფოტო: ნაჩვენებია GOMSS01 ნიმუშის აღების ორმო (მდებარეობის სანახავად იხილეთ ფიგურა 5).

აღებული სამი ნიმუშიდან ორს (GOMSS01 და GOMSS03) აღმოაჩნდა დათარიღებისთვის მინიმალურად საკმარისი კვარცის კონცენტრაცია. კვარცის გამორჩევა, გასუფთავება და Be და Al ოქსიდების მომზადება განხორციელდა არიზონას სახელმწიფო უნივერსიტეტის კოსმოგენური იზოტოპების ლაბორატორიაში. ვინაიდან ნიმუშებიდან კვარცის გამორჩევა გართულდა, საჭირო გახდა სტანდარტული მეთოდების მოდიფიკაცია Kohl და Nishiizumi (1992) - ის მიხედვით. სტანდარტულ შემთხვევაში პირველ ეტაპზე, ნიმუშების კვარცით გამდიდრება ხორციელდება ჰაფნიუმისა და აზოტმჟავის საშუალებით, თუმცა ჩვენს შემთხვევაში ნიმუშები ჯერ სამეფო წყლით (Aqua Regia - აზოტმჟავისა და ქლორწყალბადმჟავის ნარევი) გაირეცხა, ხოლო შემდეგ დამუშავდა ცხელი

ფოსფორმჟავით (მეთოდი აღწერილია (Mifsud et al. 2013-ში). ამ გზით მოხდა პრობლემური მინდვრის შპატის განცალკევება კვარცისგან და ასევე გაქვავებული ნაწილაკების დაშლა. შემდეგ ჩატარდა სტანდარტული პროცედურები ჰაფნიუმისა და აზოტმჟავის გამოყენებით. იმავე ლაბორატორიაში სვეტური ქრომატოგრაფის გამოყენებით (Ditchburn და Whitehead 1994) მოხდა ^{10}Be და ^{26}Al - ის გამორჩევა, რომელთა თანაფარდობის გაზომვა განხორციელდა პურდუს უნივერსიტეტის PRIME (Purdue Rare Isotope) ლაბორატორიის აქსელერატორ მას სპექტრომეტრით (Sukhishvili et al. 2020).

გაშიშვლებების სტრატეგიაფიული კარტირება და შრეების ასაკის დათარიღება

მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის გვიან პლეისტოცენის და ჰოლოცენის ეპოქის დეფორმაციების დასადგენად შეირჩა სამხრეთ-დასავლეთ პერიფერია, რომელსაც მარნეულის დეპრესია ესაზღვრება. გვიანმოთხეულის სივრცული და რეგიონული სტრატეგიაფიული სურათის მისაღებად მარნეულის დეპრესიაში შეირჩა შვიდი გაშიშვლება (ფიგურა 15). მოხდა გაშიშვლებების დეტალური სტრატეგიაფიული კარტირება და სადაც შესაძლებელი იყო - ძირითადი სტრატეგიაფიული ერთეულების სხვადასხვა გაშიშვლებებში გადევნება.



ფიგურა 15: ნაჩვენებია მარნეულის დეპრესიასა და მიმდებარე ტერიტორიაზე ჭრილების და ნიმუშების მდებარეობები (Suchodoletz et al. 2016).

ვინაიდან გაშიშვლებების სიმაღლე ზოგ შემთხვევაში რამდენიმე ათეულ მეტრსაც აღწევდა, მუშაობისას გამოვიყენეთ კიბე და კლდეზე საცოცი აღჭურვილობა (ფიგურა 16) (Suchodoletz et al. 2016).

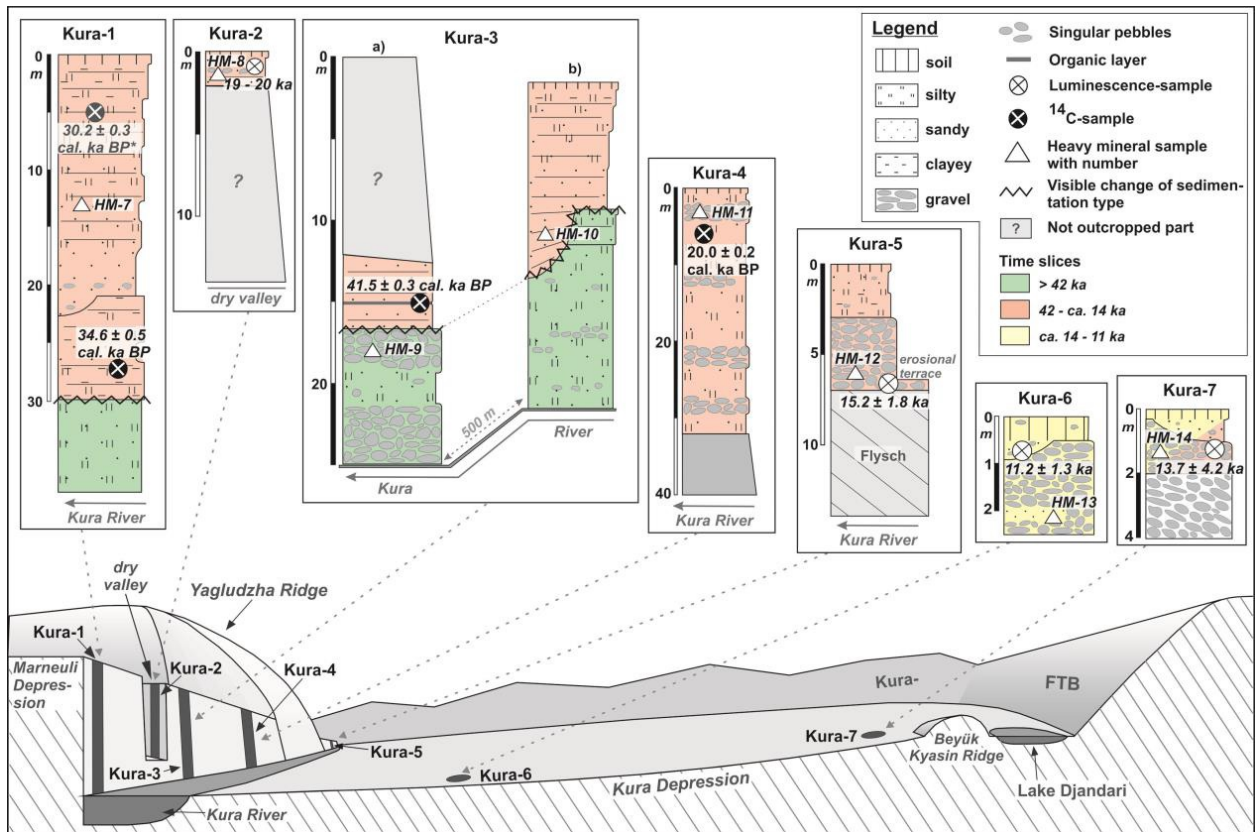


ფიგურა 16: ფლუვიალურ ჭრილებზე კიბის გამოყენების პროცესი.

აღნიშნულ გაშიშვლებებში შრეების დათარიღება განხორციელდა ორი სხვადასხვა მეთოდით. სადაც შესაძლებელი იყო ორგანული ჩანართების პოვნა, იქ დათარიღებისთვის გამოვიყენეთ რადიონახშირბადული მეთოდი (რომელიც გამოსადეგია 50 000 წლამდე); ხოლო, სადაც ვერ მოხერხდა ორგანული მასალის მოძიება, დათარიღება განხორციელდა ლუმინესცენციური მეთოდით, რომლის მუშაობის პრინციპი აგებულია ნიმუშის და მზის გამოსხივების ბოლო კონტაქტზე და პოტენციურად გამოსადეგია 100 000 წლამდე ასაკის ნიმუშებზე (Wagner 1998).

რადიონახშირბადული მეთოდით დათარიღებისთვის გამოვიყენეთ Kura-1-ის გაშიშვლების ფლუვიალური ნალექის ალევრიტული თიხიდან მოპოვებული ნახშირის ნაჭერი, Kura-3a-ს ცენტრალური ნაწილიდან ტორფის ფენა და Kura-4-ის ზედა ნაწილის ფლუვიალური ალევრიტული ქვიშიდან ნახშირის ნაჭერი. ყველა ნიმუშის კალიბრაცია განხორციელდა Calpal_A-ს Intcal13-ის მრუდის საშუალებით (Suchodoletz et al. 2016).

ლუმინესცენციური დათარიღებისთვის სედიმენტების ნიმუშები ავიღეთ ღამით Kura-2, 5, 6 და 7 გაშიშვლებების კენჭნარი და ქვიშნარი ფლუვიალური სედიმენტებიდან. ნიმუშების დამუშავება განხორციელდა ბეირითის ლუმინესცენცურ ლაბორატორიაში (Suchodoletz et al. 2016).



ფიგურა 17: ნაჩვენებია მარნეულის დეპრესიაში არსებული გეომორფოლოგიური სიტუაცია - ჭრილების, დათარიღებების და მძიმე მინერალების ანალიზების მდებარეობები და მიღებული შედეგები (Suchodoletz et al. 2016).

მძიმე მინერალების ანალიზი

მარნეულის დეპრესიაში მდინარეების პალეო ქსელის რეკონსტრუქცია მნიშვნელოვანია მდინარეების მიგრაციის მიზეზების დასადგენად. მძიმე მინერალების ანალიზი ფართოდ გამოიყენება სედიმენტების სივრცული წარმომავლობის დადგენაში (Mange et al. 1992), ამიტომ მტკვრიდან და მისი შესართავებიდან (ალგეთი, დებედა, მაშავერა და ხრამი) აღებულ იქნა 14 ნიმუში. ხოლო მძიმე მინერალების პალეო შედგენილობის დასადგენად ნიმუშების მოპოვება მოხდა ალგეთის გვიან ჰოლოცენის გაშიშვლებიდან, მტკვრის გვიან პლეისტოცენის გაშიშვლებიდან მარნეულის დეპრესიამდე 15 კმ-ში, მარნეულის დეპრესიის აუზის

შემავსებელი სედიმენტებიდან და დეპრესიის აღმოსავლეთით ხრეშიდან (Suchodoletz et al. 2016).

შედეგები გომბორის ქედიდან

ორ სხვადასხვა აუზში განხორციელებულმა ალაზანი 1-ის პალეო დინებების ანალიზმა აჩვენა, რომ სედიმენტები დალექილია მდინარისგან, რომელიც დღევანდელი მდინარეების (კისისხევი და ჭერმისხევი) საპირისპირო მიმართულებით, სამხრეთ და სამხრეთ-დასავლეთით მიედინებოდა ან მიედინებოდნენ, რაც ემთხვევა ცენტრალური კავკასიონის თანამედროვე მდინარეების დინების მიმართულებას. რაც შეეხება უფრო ახალგაზრდა, ალაზანი 3-ის სედიმენტების პალეო დინებებს, აქ კისისხევსა და ჭერმისხევში ერთი დომინანტი ნაკადის მიმართულება ვერ გამოიკვეთა, თუმცა მეტ-ნაკლებად დაემთხვა თანამედროვე ალაზნის დინების მიმართულებას (Sukhishvili et al. 2020). ალაზანი 3-დან უფრო ცხადი სურათის მისაღებად, 2019 წლის ნოემბერში განხორციელდა მე-6 აუზის (მდინარე თურდო) ალაზანი 3-ის და უფრო ახალ გაშიშვლებებში პალეო დინებების ანალიზი. ალაზანი 3-ის შედარებით ძველი შრის ანალიზით გამოიკვეთა, რომ სედიმენტების დამლექავი მდინარე ჩრდილო-დასავლეთით (აზიმუტი 82°) გადაადგილდებოდა. ამავე ფაციესის შედარებით ახალ ნალექებში ჩატარებული გაზომვების შედეგად გამოვლინდა ნაკადის 21° -იანი აზიმუტის მიმართულება რაც ნაკადების დინებების მიმართულების შებრუნების პროცესის დაბოლოებას უნდა მიუთითებდეს. ალაზანი 3-ზე ახალი ნალექების ანალიზის შედეგად გამოვლინდა ნაკადის მიმართულება 87° -იანი აზიმუტით, რაც ემთხვევა თანამედროვე ალაზნის დინების მიმართულებას (იხილეთ ცხრილი 1 და ფიგურა 5).

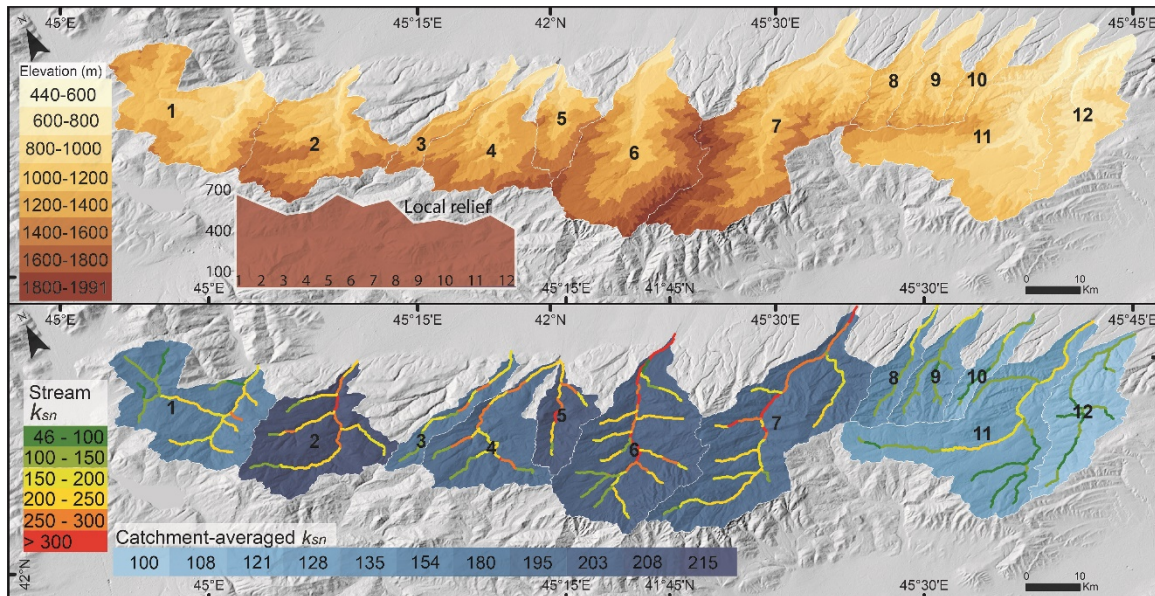
აუზი	ფაცოესი	გაზომილი კლასტების რაოდენობა	დომინანტი მიმართულების მქონე კლასტების პროცენტული რაოდენობა	კლასტების დახრის აზიშუტი ($^{\circ}$)	დამლექავი ნაკადის საშუალო ვექტორი ($^{\circ}$)
6	ფაცოესებზე ახალი	36	19.4	271-280	87±10.6
6	ალაზანი 3	33	21.2	181-190	21±5.8
6	ალაზანი 3	48	13.8	281-290	82±4.6
7	ალაზანი 1	36	56	221-240	225.4±3.6
7	ალაზანი 3	52	17	61-80	142.4±20.4
11	ალაზანი 1	93	63	201-220	214.7±2.2
11	ალაზანი 3	73	18	101-120	67±25.8

ცხრილი 2: ნაჩვენებია პალეო დინებების ანალიზის დეტალები.

GOMSS01 ნიმუშის განამარხების ასაკის დათარიღებამ სამწუხაროდ ვერ მოგვცა სასურველი შედეგი, რაც დამუშავების სტადიაზე მეთოდოლოგიური ხარვეზის ბრალი უნდა იყოს (Sukhishvili et al. 2020). მეორე, GOMSS03, ნიმუშმა მართალია მოგვცა ინტერპრეტირებადი ასაკი, მაგრამ საკუთარი Al-ის მაღალმა და ^{26}Al -ის დაბალმა კონცენტრაციებმა, შეამცირა გაზომვის ანალიტიკური სიზუსტე და შედეგად მოგვცა ~ 1 მილიონი წელი, თუმცა დაახლოებით ± 1 მილიონი წლის ცდომილებით. მიუხედავად იმისა, რომ ასაკი დიდი ცდომილებითაა განსაზღვრული, მაინც ეს არის მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის ამ რეგიონიდან და მათ შორის ალაზნის ფაციესიდან პირველი დათარიღება, რომელიც ამავე დროს ადასტურებს, რომ ფაციესი აფშერონულ ასაკს უნდა განეკუთვნებოდეს (Sukhishvili et al. 2020).

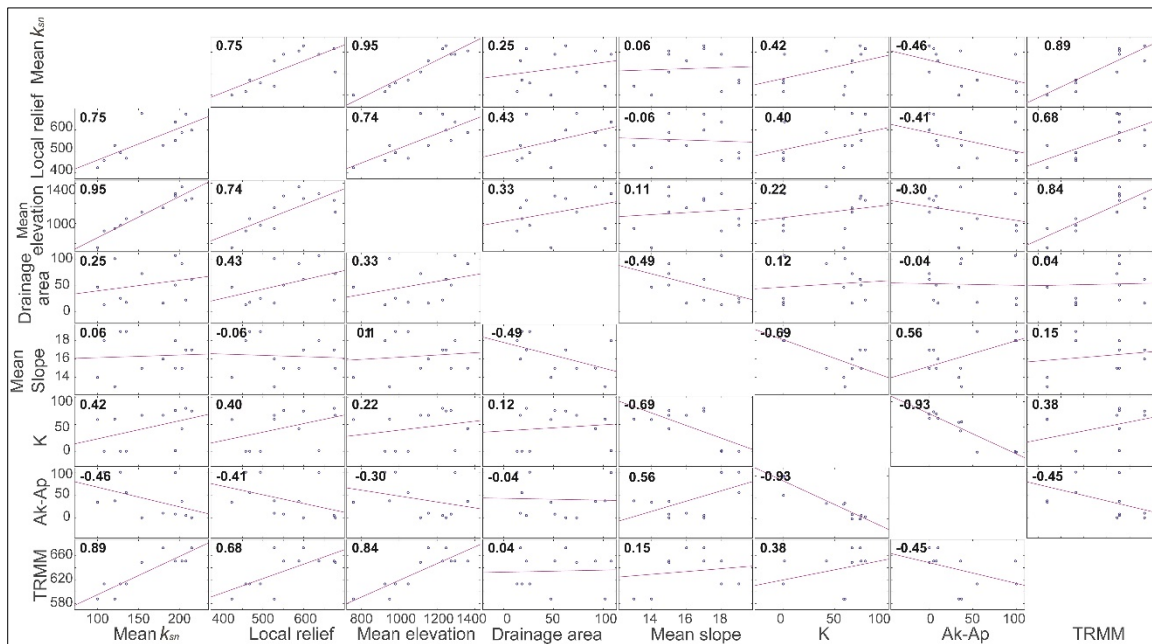
როგორც მიმოხილვიდან ჩანს, მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის წარმოშობა (დეფორმაცია) დაიწყო დასავლეთ სეგმენტზე და მოგვიანებით გავრცელდა აღმოსავლეთით, თუმცა ეს ინფორმაცია შეიძლება არ შეესაბამებოდეს სინამდვილეს. დეფორმაციის დაწყების შემდეგ განვითარებული სურათის მისაღებად კვლევაში გამოვიყენეთ რაოდენობრივი ტექტონიკური გეომორფოლოგიური ანალიზი. ანალიზმა გვაჩვენა, რომ ქანების აზეგების ორი ძირითადი ინდიკატორი (K_{sn} ინდექსი და ადგილობრივი რელიეფი) მიუთითებს აზეგების სწრაფ ტემპზე გომბორის ქედის დასავლეთ ნაწილში (ფიგურა 18). როგორც წესი, ეს ასეც იყო მოსალოდნელი რადგან ეს ორი ინდიკატორი ერთმანეთთან მჭიდრო კავშირშია (Dibiase et al. 2010). სხვა

სიტყვებით რომ ვთქვათ, გომბორის ქედის დასავლეთ ნაწილის აზევება აღმოსავლეთ ნაწილზე უფრო სწრაფად მიმდინარეობს, რადგან როგორც კალაპოტის ციკაბობის ინდექსი, ისე ფარდობითი რელიეფი დადებით კორელაციაშია ქანების აზევებასთან (Sukhishvili et al. 2020, Kirby და Whipple 2012).



ფიგურა 18: ზედა რუკაზე ნაჩვენებია აბსოლუტური სიმაღლეები და საკვლევი აუზების ნუმერაცია, ხოლო დიაგრამაზე - ადგილობრივი რელიეფის განაწილება საკვლევი აუზების მიხედვით. ქვედა რუკაზე ნაჩვენებია K_{sn} ინდექსები მდინარეებზე და ასევე მათი გასაშუალოებული მაჩვენებლები საკვლევი აუზების მიხედვით (Sukhishvili et al. 2020).

პროცესების უკეთ აღსაქმელად გაანალიზებულ გეომორფოლოგიურ პარამეტრებს შორის გავაკეთეთ კორელაციების დიაგრამები (ფიგურა 19), შედეგად გამოჩნდა რომ:



ფიგურა 19: ნაჩვენებია სხვადასხვა ტექტონიკურ-გეომორფოლოგიურ ინდექსებს, ლითოლოგიას და ნალექებს შორის კორელაციები (Sukhishvili et al. 2020).

ა. აუზებისთვის გასაშუალოებულ K_{sn} ინდექსს მაღალი დადებითი კორელაციები აქვს აუზებისთვის გასაშუალოებულ აბსოლუტურ სიმაღლესთან ($r = 0.95$) და ადგილობრივ რელიეფთან ($r = 0.75$). სამაგიეროდ ფაქტიურად არაა კორელაციაში ($r = 0.06$) აუზებისთვის გასაშუალოებულ ფერდობების დახრასთან. ეს უკანასკნელი ფაქტი ერთ შეხედვით მოულოდნელია, რადგან როგორც ზემოთ ვახსენეთ, სწრაფი აზევება, სწრაფ ჩაქრას და ეროზიას იწვევს, რაც რელიეფისთვის ციკაბო ფერდობების ჩამოყალიბებაში გამოიხატება, თუმცა ანალიზმა გვაჩვენა რომ თუ ფერდობების დახრით ვიმსჯელებთ, სწრაფი აზევება კავშირში არაა ფერდობის დახრასთან, ხოლო იქ სადაც ნელი აზევებაა, ფერდობის დახრის გრადუსი იზრდება. ამ ერთი შეხედვით არალოგიკური შედეგის ახსნა დევს ფერდობების სტაბილურობის „ზღვრულ“ კუთხეში. კერძოდ, მართალია სწრაფად აზევებად ლანდშაფტებში მდინარეები უფრო სწრაფად ახორციელებენ სიღრმით ეროზიას, მაგრამ ფერდობებს, როგორც წესი, გააჩნიათ სტაბილურობის „ზღვრული“ კუთხე, რის მიღწევის შემდეგ ვითარდება მეწყრები და მცირდება ფერდობების დახრის კუთხე. ხშირად, მდინარეებისმიერი გვერდითი ეროზია წარმოადგენს „ზღვრულ“ დახრის კუთხეს მიღწეულ ფერდობებზე მეწყრის განვითარების ტრიგერს (Larsen და Montgomery 2012), რაც იმას უნდა მიაწინებდეს რომ თუ აუზში მეტი ნალექი და უფრო სწრაფი აზევების პროცესია, იქ

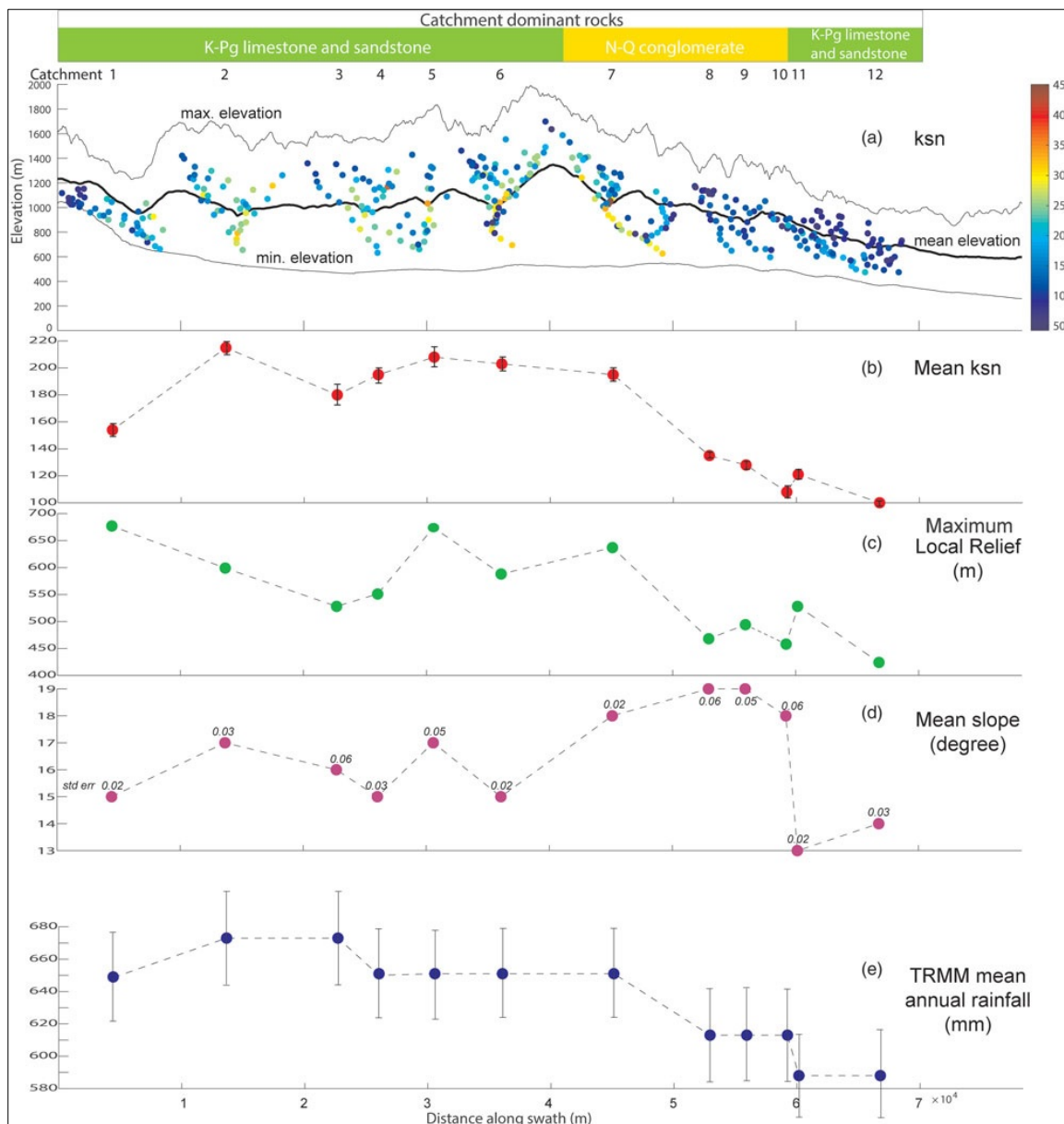
მეტი მეწყერია და შესაბამისად ფერდობები ნაკლებად დახრილებია. იგივე სურათი გვაქვს გომბორის ქედის შემთხვევაშიც (ქედზე მრავალთაგან ერთ-ერთი დამეწყერილი უბანი ნაჩვენებია ფიგურა 20-ზე). კერძოდ, დასავლეთის აუზები ავლენენ სწრაფი აზევების ნიშნებს და ასევე TRMM-ის ნალექების მონაცემებით, აქვე მოდის უფრო მეტი ნალექი ვიდრე აღმოსავლეთის აუზებში.



ფიგურა 20: მდინარე კისისხევის ზედა დინებაში, ცარცული ნალექების ზონაში, მდინარის მიერ გაჭრილი მეწყერული სხეული.

როგორც აღვნიშნეთ, ჩვენს მიერ გამოყენებულ ტექტონიკურ-გეომორფოლოგიურ ინსტრუმენტების მიერ მოცემულ შედეგზე გავლენა შეიძლება ატმოსფერულმა ნალექებმა და ლითოლოგიამ მოახდინოს. ანალიზმაც გვაჩვენა, რომ დიდი კორელაციაა ნალექებსა და აუზებისთვის გასაშუალოებულ K_{sn} -ს, ფარდობით რელიეფს და აუზებისთვის გასაშუალოებულ აბსოლუტურ სიმაღლეებს შორის ($r = 0.89$, $r = 0.68$, $r = 0.84$ შესაბამისი თანმიმდევრობით). თუმცა, აქვე მნიშვნელოვანია რომ ნალექების გავლენა ტოპოგრაფიაზე გამოიხატება K_{sn} ინდექსის და ფარდობითი რელიეფის კლებით, რაც ჩვენს შემთხვევაში პირიქითაა. ეს ფაქტი გვაფიქრებინებს, რომ გომბორის ქედზე ტექტონიკურ-გეომორფოლოგიურ პარამეტრების თავისებურებებზე ატმოსფერულ ნალექებს მნიშვნელოვანი გავლენა არ გააჩნია. თუმცა, აბსოლუტური სიმაღლეების და ნალექიანობის მაღალი კორელაცია ($r = 0.84$) მიაჩნდება მაღალი ტოპოგრაფიული ბარიერით გამოწვეულ ნალექიანობის ზრდაზე.

რაც შეეხება ლითოლოგიის გავლენას აზევების შესახებ ინფორმაციის მომცემ პარამეტრებზე (K_{sn} ინდექსი და ფარდობითი რელიეფი) მათი კორელაციები აუზის დომინანტ ქანებთან საკმაოდ დაბალია ($r = 0.4$, $r = 0.42$, $r = -0.41$, $r = -0.46$) (Sukhishvili et al. 2020).



ფიგურა 21: საკვლევი აუზების მიხედვით ნაჩვენებია a. გომბორის ქედზე მიმართების პარალელური ზოლის ტოპოგრაფიული და k_{sn} ინდექსის პროფილი; b. აუზების საშუალო k_{sn} ინდექსი; c. მაქსიმალური ადგილობრივი რელიეფი; d. ფერდობების საშუალო დახრა; e. TRMM-დან მიღებული საშუალო წლიური ნალექები ასევე, ზედა ზოლში კოდირებულია აუზების ზედაპირზე დომინანტი ქანები - მწვანე ფრად ცარცული და ნეოგენის ქვიშაქვები და ყვითლად - ალჩაგილ-აფშერონული კონგლომერატები (Sukhishvili et al. 2020).

შედეგები მარნეულის დეპრესიიდან

Kura-1 და Kura-3b ჭრილების საგები აგებულია ძირითადად ერთგვაროვანი ქვიშნარი და თიხნარი მასალისგან, განსხვავებით Kura-3a ჭრილისა, სადაც წარმოდგენილია ხრემის მასიური შრეები ქვიშის ჩანართებით. ამ სედიმენტების ზემოთ სედიმენტაციის ტიპი მნიშვნელოვნად განსხვავებულია. კერძოდ, გვხვდება მკვეთრადგამოხატული წვრილმარცვლოვანი ქვიშის და თიხის შრეები. აღნიშნულ სედიმენტებს, და განსაკუთრებით მათ ზედა ნაწილს, უმეტესად არ გააჩნიათ ეროზიული ზედაპირები. მეტიც, Kura-1-ის ზედა ნაწილზე ნიადაგწარმოქმნელი პროცესებიც შეინიშნება. ამ ჭრილებში სედიმენტების ზომა ზედა მიმართულებით მცირდება და ეს ტრენდი ვრცელდება Kura-2-ის და Kura-3-ის ჭრილებზეც. Kura-4-ის ამგები მასალები შედარებით უხეშია, შედგება ქვიშნარით, რომელსაც გააჩნია მსხვილმარცვლოვანი ხრემის ჩანართები და ზედა ნაწილში მცირედშეფერილი თიხნარი. Kura-5-ის ჭრილის საგები მდებარეობს ჩაჭრილ ძირითად ქანზე (ფლიშზე). მისი ქვედა, 5 მეტრი სისქის კენჭნარი, დაფარულია ქვიშნარ-თიხნარი მასალით. Kura-6-ის ჭრილში კენჭნარის განლაგებას არ გააჩნია დახრა რაც არ აღინიშნება Kura-7-ში - აქ კენჭნარით წარმოდგენილი საგები დახრილია. ორივე ჭრილში კენჭნარით წარმოდგენილი საგები დაფარულია თიხნარით, რომელსაც გააჩნია კენჭნარის თხელი ჩანართები (Suchodoletz et al. 2016).

რადიონახშირბადული მეთოდით დათარიღებულმა ოთხმა ნიმუშმა მოგვცა 41.5 ათასიდან 20.0 ათას წლამდე ასაკები, ხოლო ლუმინესცენცური მეთოდით დათარიღებამ 20-დან 11.2 ათასი წლები (ყველა ასაკი კალიბრებულია და აითვლება 1950 წლიდან უკან). Kura-1, 2 3 4 ჭრილების შუა და ზედა შრეების დათარიღებამ მოგვცა 42-დან 20 ათასამდე წლები. Kura-5-ის ჩაჭრილ ძირითად ქანზე განლაგებული

კენჭნარი დათარიღდა 15 ათასი წლით. Kura-6-ის და Kura-7-ის არადახრილი კენჭნარი ფენები დათარიღდა 14 და 11 ათასი წლით (Suchodoletz et al. 2016).

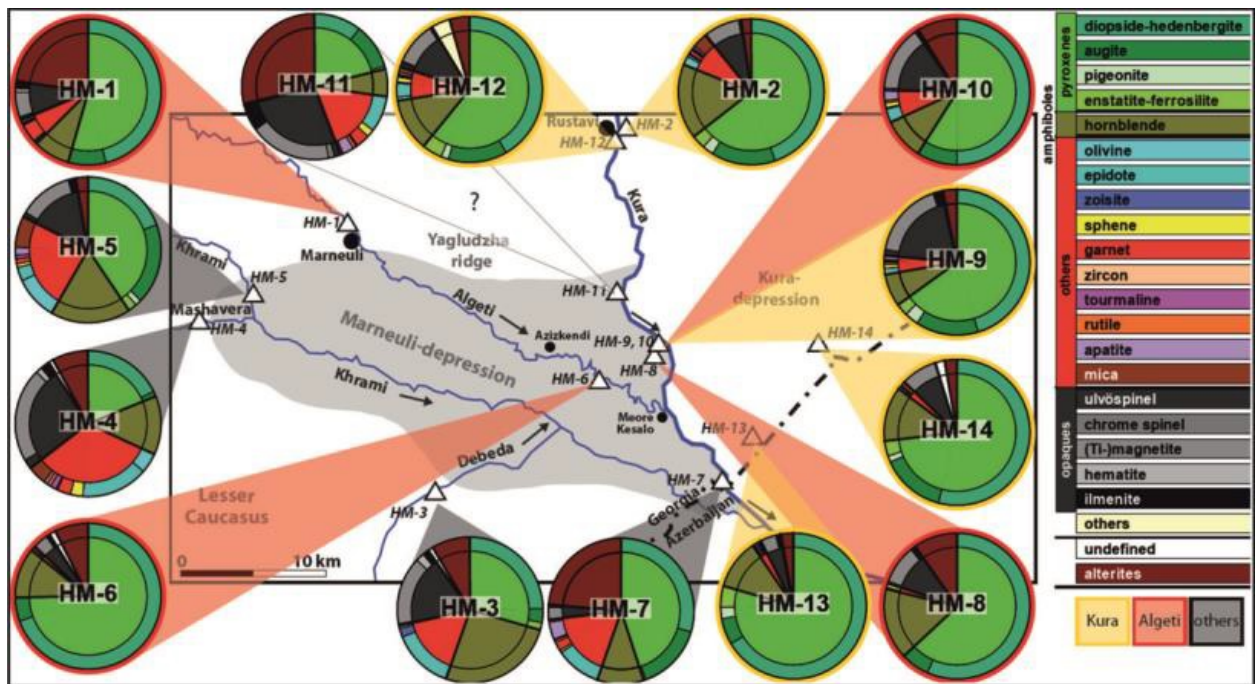
მარნეულის დეპრესიის 5 მდინარის თანამედროვე სედიმენტებში გამოვლინდა მნიშვნელოვნად განსხვავებული მძიმე მინერალების შედგენილობა, რომელთა დაჯგუფება სამ ძირითად კლასადაა შესაძლებელი:

I. მცირე კავკასიონის ცენტრალური ნაწილიდან მდინარეების მაშავერას, ხრამის და დებედას მიერ მოტანილი მასალა - მაშავერა და ხრამის სედიმენტებში გამოვლინდა ქარსის, ტურმალინის, ტიტანიტის და აპატიტის დიდი კონცენტრაცია. ასევე, მნიშვნელოვანი რაოდენობით გვხვდება ოლივინი და ეპიდოტი. თუმცა, მხოლოდ ხრამშია წარმოდგენილი პიროქსენები, ამფიბოლები და მცირე რაოდენობით - ენსტატიანი პიროსილიტები და პიჟონიტები. დებედას მძიმე მინერალების თანამედროვე სპექტრი დაემთხვა ძველი ნიმუშების სპექტრს, თუმცა აღარ დაფიქსირდა ფელზური მინერალები და ოლივინი.

II. მდინარე მტკვრის მიერ მცირე და ცენტრალური კავკასიონიდან მოტანილი მასალა - ძირითადად წარმოდგენილია პიროქსენები, ეპიდოტები, ენსტატიტური ფეროსილიტები, პიჟონიტები, ამფიბოლიტები და მცირე რაოდენობით ფელზური მინერალები.

III. მდინარე ალგეთის მიერ მცირე კავკასიონის ჩრდილოეთიდან მოტანილი მასალა - მტკვრის სპექტრის მსგავსად ძირითადად წარმოდგენილია პიროქსენები (დიოპსიდ-ჰედენბერგიტები), და მცირე რაოდენობითაა ფელზური მინერალები. თუმცა, მტკვრისგან განსხვავებით, ეპიდოტები, ენსტატიტური ფეროსილიტები, პიჟონიტები და ამფიბოლიტები არ ფიქსირდება. სხვა ყველა მდინარისგან განსხვავებით დიდი რაოდენობითაა წარმოდგენილი ალტერიტები.

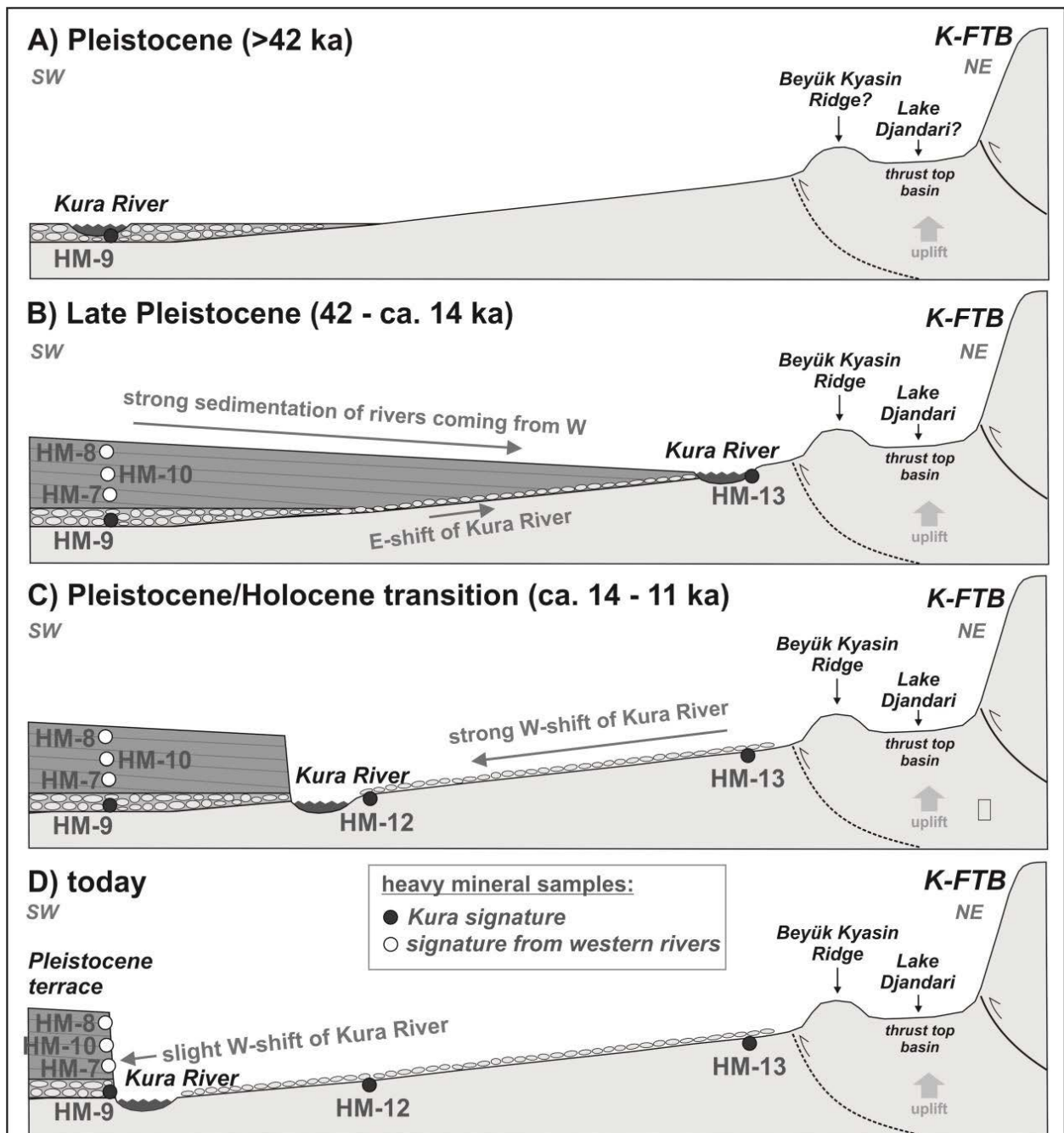
ტერასებიდან და თანამედროვე კალაპოტებიდან აღებული ნიმუშების მძიმე მინერალების სპექტრები ნაჩვენებია ფიგურა 22-ში.



ფიგურა 22: მძიმე მინერალების ანალიზების შედეგები. წითელი ისრებით აღნიშნულია ალგეთისთვის დამახასიათებელი ნიმუშები; ყვითელი ისრებით აღნიშნულია მტკვრისთვის დამახასიათებელი ნიმუშები; ნაცრისფრით - ხრამის, მაშავერას და დებედას (Suchodoletz et al. 2016).

მარნეულის დეპრესიიდან აღებულმა ნიმუშმა HM-7-მა მოგვცა 35 -30 ათასი წელი და უნდა ეკუთვნოდეს მდინარეებს ხრამს (დასავლეთ ნაწილს), მაშავერას ან/და დებედას. უფრო ჩრდილოეთით აღებული ასევე გვიან პლეისტოცენის ნიმუშები (HM-8 და HM-10) მიეკუთვნება მდინარე ალგეთის დასავლეთ ნაწილს. მათი ასაკი 42 და 40 ათასი წლებია და შესაბამისად უფრო ძველია ვიდრე ზემოთნახსენები ხრამის, მაშავერას ან/და დებედას მასალა. Kura-3-ის ჭრილიდან აღებული HM-9 ნიმუში, რომელიც სტრატეგრაფიულად HM-10-ის ქვემოთ მდებარეობს განეკუთვნება მდინარე მტკვრის სედიმენტს და თარიღდება დაახლოებით 20 ათასი წლით. მდინარე მტკვრის დღევანდელი კალაპოტიდან 4 კმ აღმოსავლეთით, მარნეულის დეპრესიაში აღებული ნიმუში HM-13 თარიღდება 11.2 ± 1.3 ათასი წლით და მისი მძიმე მინერალების სპექტრი მტკვრის ტიპური სპექტრის იდენტურია. ასევე, HM-14 ნიმუში, რომელიც მტკვრის თანამედროვე კალაპოტიდან აღმოსავლეთით დაახლოებით 12 კმ-შია აღებული, განეკუთვნება მდინარე მტკვრის სედიმენტს. მისი ასაკი 13.7 ± 4.2 ათასი წელია. ვინაიდან HM-9 ნიმუში Kura-3-ის ჭრილში სტრატეგრაფიულად ალგეთის სედიმენტების დაბლა მდებარეობს, გამოდის რომ 42 წლამდე მდინარე მტკვარი

დღევანდელ კალაპოტში მიედინებოდა (ფიგურა 23, A). 42 ათასი წლიდან პლეისტოცენ-ჰოლოცენის საზღვრამდე მტკვარმა დაახლოებით 10 კმ-ით აღმოსავლეთით გადაინაცვლა ფიგურა 23, B). მარნეულის დეპრესიის ჩრდილოეთიდან აღებულმა HM-11 ნიმუშმა, რომელმაც დალექვის ასაკი 20 ათასი წელია, აჩვენა რომ ამ პერიოდში მტკვარი იმავე ადგილას მიედინებოდა. Kura 6 და 7 ჭრილების დათარიღებიდან დადგინდა, რომ მტკვარმა 14 – 11 ათასი წლის წინ განიცადა სწრაფი მიგრაცია დასავლეთით, დღევანდელი კალაპოტისკენ (ფიგურა 23, C). აქ მას დახვდა დასავლეთიდან მარნეულის დეპრესიაში მომდინარე მდინარეების მიერ ტრანსპორტირებული და დალექილი სედიმენტები და დაიწყო მათი გვერდითი ეროზია, რაც დღემდე მიმდინარეობს (ფიგურა 23, D) (Suchodoletz et al. 2016).



ფიგურა 23: ნაჩვენებია მდინარე მტკვრის მიგრაციები და სედიმენტების აკუმულაცია/ეროზიები 42 ათასი წლის წინიდან დღემდე (Suchodoletz et al. 2016).

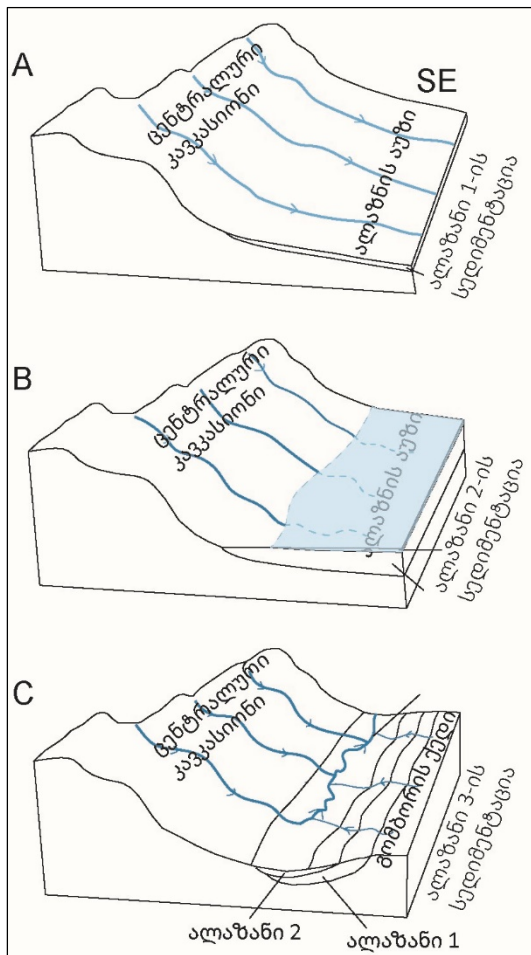
შედეგების განხილვა

პალეო დინეების ანალიზმა გვაჩვენა, რომ გომბორის ქედზე მდინარეთა დინების მიმართულების ცვლა და ზოგადად მდინარეთა ქსელის რეორგანიზაცია დაიწყო ალაზანი 1-ის ფაციესის დალექვისას ან დალექვის შემდეგ და დასრულდა ალაზანი 3-ის დალექვისას ან მას შემდეგ. შედეგად, ცენტრალური კავკასიონიდან მომდინარე მდინარეებმა შეიცვალეს დინების მიმართულება და შეწყვიტეს თანამედროვე გომბორის ქედის ტერიტორიაზე დენა. სანაცვლოდ, ახლადაზევებული გომბორის ქედიდან დაიწყო ახალი მდინარეების ჩამოყალიბება, რომელთა დინების მიმართულება ქედის თანამედროვე მდინარეების მიმართულების ანალოგიურს წარმოადგენს. ჩვენ ვთვლით, რომ აღნიშნული პროცესი უნდა წარმოადგენდეს მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის ჩამოყალიბების დასაწყისის შედეგს და შესაბამისად ალაზნის სერიის ფაციესებში შესაძლებელია სარტყლის უძველესი, დასავლეთ სეგმენტის დეფორმაციის დაწყების ასაკის „პოვნა“ (Sukhishvili et al. 2020).

ვინაიდან ვთვლით, რომ დასავლეთ მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყელში (გომბორის ქედი) მდინარეთა ქსელის რეორგანიზაციის დრო მნიშვნელოვანი ინფორმაციაა მთლიანად სარტყლის სტრუქტურული და ტოპოგრაფიული ევოლუციის რეკონსტრუქციაში, შევეცადეთ პროცესების ასაკები გარკვეულ ვიწრო ჩარჩოებში მოგვექცია. როგორც ცნობილია, ალაზნის სერიის სედიმენტები განეკუთვნება აღჩაგილ-აფშერონულ პერიოდს. როგორც სხვადასხვა ნაშრომიდან ჩანს, აღჩაგილური სართულის საგების ასაკს სივრცული ცვალებადობა ახასიათებს. მაგალითად აზერბაიჯანში, კასპიის ზღვის სანაპიროზე ფერფლის ჰორიზონტის ^{40}Ar - ^{39}Ar მეთოდით დათარიღებამ დაახლოებით 2.7 მილიონი წელი აჩვენა (Van Baak et al. 2019). უფრო დასავლეთით, გომბორის ქედიდან აღმოსავლეთით 150 კმ-ში, აღჩაგილის სართულის ქვეშ მდებარე ფენის დალექვის მაქსიმალურ ასაკად დეტრიტულმა ცირკონმა დაახლოებით 2.5 მილიონი წელი აჩვენა (Forte et al. 2015). ასევე ცვალებადად ითვლება აღჩაგილის და აფშერონის სართულებს შორის საზღვრის

ასაკი, მაგრამ მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლისთვის აფშერონული სართული დაახლოებით 2.2 -დან 0.88 მილიონ წლამდე ვრცელდება (Krijgsman et al. 2019).

ზემოთმოცემულ ინფორმაციაზე დაყრდნობით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ალაზანი 1-ის სედიმენტაცია დაიწყო არაუადრეს დაახლოებით 2.5 მილიონი წლის წინ ცენტრალური კავკასიონიდან მომდინარე და მტკვრის აუზში ჩამდინარე მდინარეების მიერ (ფიგურა 24, A). ჩვენი აზრით, ალაზანი 1-ის სედიმენტაციისას დაიწყო გომბორის ქედის აზევება, რამაც შესაძლოა გამოიწვია მასზე გამდინარე მდინარეების შეგუბება (ფიგურა 24, B). ამით შესაძლებელია აიხსნას ალაზანი 2-ის ფაციესის წვრილმარცვლოვანი, ლაკუსტრინულის მსგავსი შედგენილობა. მიმდინარე დეფორმაციასა და აზევებასთან ერთად, გომბორის ქედი უკვე მნიშვნელოვან ტოპოგრაფიულ ბარიერს წარმოადგენდა, ამიტომ ჩვენი ვარაუდით დასრულდა მეორე და დაიწყო ახალი, მესამე ფაციესი, რის დროსაც მდინარეთა ქსელი რეორგანიზაციის დასკვნით ფაზაშია და პალეო დინეების ანალიზში უკვე ჩნდება გომბორის ქედიდან ალაზნის აუზისკენ მიმდინარე მდინარეების კვალი (ფიგურა 24, C) (Sukhishvili et al. 2020). მე-7 და მე-11 აუზებში პალეო დინეების არაერთგვაროვანი მიმართულების ახსნა შესაძლებელია მდინარეების მეანდრირებით, კალაპოტების დინამიურობით და ამ პროცესში დალექილი მასალით. თურდოს ხეობაში 2019 წლის ნოემბერში ჩატარებულმა დამატებითმა გაზომვებმა გვაჩვენა, რომ ფაციესის სხვადასხვა დონეზე დომინანტი მიმართულება ცვალებადია და ჩრდილოეთიდან აღმოსავლეთამდე მერყეობს. შესაბამისად ვფიქრობთ, რომ მეანდრირების და მდინარეთა კალაპოტების დინამიკით აღნიშნული მოვლენის ახსნა შესაძლებელია.



ფიგურა 24: ალაზნის ფაციესების დალექვის ეტაპების რეკონსტრუქცია (Sukhishvili et al. 2020).

ჩვენს მიერ წარმოდგენილი მდინარეების პალეო ქსელის და თანამედროვე ქსელის შედარება გვაფიქრებინებს, რომ გომბორის ქედის აზელების პროცესი საკმაოდ სწრაფი იყო, რადგან ნელი აზელების პირობებში მდინარეები ახერხებენ ანტეცედენტური ხეობების გაჭრას, როგორც ეს შეძლეს მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის აღმოსავლეთში (Forte et al. 2010), ხოლო სწრაფი აზელების შემთხვევაში, ანტეცედენტური ხეობები ვერ ასწრებს ჩამოყალიბებას (Humphrey და Konrad 2000).

ვინაიდან არ გაგვაჩნია ალაზნის სერიის ფაციესების ძალიან ზუსტი ასაკები და დათარიღების ერთადერთი წარმატებული ნიმუშის მიერ მოწოდებული ასაკი მხოლოდ დეფორმაციის პროცესის დროის შესახებ გვაძლევს ინფორმაციას, დეფორმაციის დაწყების თარიღი გარკვეულწილად ბუნდოვანი რჩება. თუმცა, თუ დავუშვებთ, რომ:

1. ალაზნის 1-ის საგების ასაკი დაახლოებით 2.5 მილიონი წელია;

2. ალაზანის 1-ის დალექვისას მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის დასავლეთი სეგმენტი ჯერ ისევ ახლადინიცირებული სისტემაა და ალაზანი 3-ის ასაკი დაახლოებით 1 მილიონი წელია (GOMSS03 ნიმუშის მიხედვით);
3. ალაზანი 3-ის დალექვა მოხდა იმ პერიოდში, როცა მდინარეთა ქსელის რეორგანიზაცია უკვე მომხდარია და მდინარეებს შეცვლილი აქვთ დინების მიმართულება;

მაშინ, შესაძლებელია მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის დასავლეთ სეგმენტზე დეფორმაციის დაწყების დროის დიაპაზონის გარკვეულ ჩარჩოებში მოქცევა - 2.5-დან 1 მილიონ წლამდე. Lazarev et al. (2019) – ის მიხედვით, სარტყლის შორეულ აღმოსავლეთ სეგმენტზე დეფორმაცია დაიწყო დაახლოებით 2.2 – 2.0 მილიონი წლის წინ. თუ დავუშვებთ, რომ Forte et al. (2010)-ს მიერ შემოთავაზებული ჰიპოთეზა დეფორმაციის დასავლეთში დაწყების და მოგვიანებით აღმოსავლეთისკენ გავრცელების შესახებ სწორია, მაშინ აღნიშნულ პროცესს 0.5 – 1.0 მილიონი წელი დასჭირდებოდა. ხოლო თუ გავითვალისწინებთ დასავლეთ სეგმენტის თარიღის ფართე დიაპაზონს და აღმოსავლეთ სეგმენტის მონაცემებს, მაშინ შესაძლებელია სეგმენტებს შორის დეფორმაციის ასაკი არ იყოს განსხვავებული და ერთდროულად იყოს დაწყებული (Sukhishvili et al. 2020).

Reilinger et al. (2006)-ის მიხედვით, GPS-ით გაზომილი ქერქის ჰორიზონტული გადაადგილების სიჩქარეები (ევრაზიის მიმართ) მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის აღმოსავლეთით, მიმართების გასწვრივ, იზრდება. თუმცა, ეს მონაცემები არ არის თანხვედრაში ჩვენი ტექტონიკურ-გეომორფოლოგიური ანალიზის შედეგებთან, რის მიხედვითაც გომბორის ქედის დასავლეთით ფიქსირდება უფრო სწრაფი აზევება, ვიდრე აღმოსავლეთით. თუ ჩვენი დაშვება იმის შესახებ, რომ მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა მთლიანი სარტყლის დეფორმაცია თითქმის ერთდროულად დაიწყო, მართებულია, მაშინ GPS მონაცემების და ჩვენი ანალიზის განსხვავებული შედეგებს შეიძლება რამდენიმე ახსნა ჰქონდეს.

1. მიმართების გასწვრივ რელიეფის შემცირება შესაძლოა გამოწვეული იყოს სტრუქტურული კომპლექსურობით. კერძოდ, მთლიანი კონვერგენციის დიდი

ნაწილი შესაძლოა გომბორის სამხრეთ-აღმოსავლეთით არსებულ დამატებით სტრუქტურებზე მოდიოდეს;

2. შესაძლოა კუმშვის კერა მიმართების გასწვრივ მონაცვლეობდეს ცენტრალურ კავკასიონსა და მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყელს შორის;
3. სარტყლის ფარგლებში, მიმართების გასწვრივ, სტრუქტურული გეომეტრიის ცვლილება, კერძოდ დასავლეთის ციცაბოდაქანებული სტრუქტურების აღმოსავლეთში უფრო ნაკლებდაქანებული სტრუქტურებით ჩანაცვლება, შესაძლოა აღმოსავლეთში ნაკლებ აზევებაში გამოიხატა;
4. დასავლეთში აზევებამ ამოწია ძველი და ეროზიისადმი უფრო მედეგი ქანები, მაშინ როცა აღმოსავლეთში ამოიზიდა უფრო ახალგაზრდა და ცუდადშეკავშირებული შრეები. შესაბამისად, დასავლეთში შენარჩუნდებოდა უფრო მაღალი რელიეფი, ხოლო აღმოსავლეთში სწრაფი აზევების პირობებშიც კი მოხდებოდა დენუდაცია;
5. თანამედროვე GPS მონაცემები ასახავს მხოლოდ გაზომვის წლებისთვის დამახასიათებელ სიტუაციას, ხოლო რეგიონის ევოლუცია დროის გაცილებით დიდ მონაკვეთში მიმდინარეობს. შესაბამისად, შესაძლოა აღნიშნული განსხვავება გამოწვეული იყოს დღევანდელ და წარსულ სიტუაციებს შორის სხვაობით;

დღეისთვის არ გაგვაჩნია საკმარისი მონაცემები, რომ ჩამოთვლილი მიზეზებიდან გამოვეყოთ რეალური და დანარჩენები უარვეყოთ. პირველი ვარიანტი მოითხოვს მთლიანი კუმშვის რაოდენობრივ შეფასებას გომბორის ქედსა და მის სამხრეთით. მეორე ვარიანტის გასამართლებლად არ მოგვეპოვება საკმარისი საფუძველი. მესამე ვარიანტის შემთხვევაში მსგავსი ტენდენცია არ შეინიშნება (როგორც მინიმუმ, გომბორის ქედის ალაზნის ფაციესის მიმართების გასწვრივ). მეოთხე ვარიანტის შემთხვევაში, ჩვენი ანალიზით დადგინდა რომ ლითოლოგიას არ გააჩნია მნიშვნელოვანი გავლენა. მეხუთე ვარიანტის დადასტურება ან გამორიცხვა მოითხოვს სარტყლის გასწვრივ დეფორმაციის დაწყების თარიღების დეტალურ შესწავლას, თუმცა, როგორც უკვე აღვნიშნეთ ის დაშვება, რომ სარტყლის დეფორმაცია მის ყველა სეგმენტზე მეტნაკლებად ერთდროულად დაიწყო, სიცოცხლისუნარიანია (Sukhishvili et al. 2020).

არსებული კვლევები აღმოსავლეთ (Forte et al. 2013) და ცენტრალური (Alania et al. 2017) მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლიდან მიუთითებენ, რომ მტკვრის ფორლანდი აქტიური ნაოჭა-შეცოცებათა სისტემაა. ჩვენმა კვლევამ აჩვენა, რომ სარტყლის დასავლეთ სეგმენტმა მეოთხეულში განიცადა მდინარეთა ქსელის რეორგანიზაცია და მსხვილმასშტაბიანი ტექტონიკური გადაადგილებები, რომელიც სავარაუდოდ კვლავ მიმდინარეობს.

მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის დასავლეთ სეგმენტის აზევება ბუნებრივად გამოიწვევს მის დასავლეთით არსებული მდინარეთა ქსელის დასავლეთით გადაწევის. თუმცა ამ შემთხვევაში, მაგალითად მდინარე მტკვარს, ბარიერად ხვდება ასევე აზევებადი მცირე კავკასიონი, კერძოდ იაღლუჯას ქედი და მცირე კავკასიონზე მიმდინარე სხვა პროცესები, რომლებიც ასახვას მარნეულის დეპრესიის სარტყლის დეფორმაციით მიგრირებული მდინარეების ქცევაში ჰპოვებს.

ის რომ მარნეულის დეპრესიაში არსებული მდინარეები ტექტონიკური პროცესების, და მათ შორის აზევების, გავლენას უნდა განიცდიდნენ, ჩანს ფარდობითი სიმაღლეების ანალიზშიც, კერძოდ მაღალი რელიეფი (რაც ძირითადად სწრაფი აზევებითაა გამოწვეული) გვხვდება მარნეულის დეპრესიის უშუალო სამეზობლოში (მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყელსა და მცირე კავკასიონის ზოგიერთ უბანზე), ხოლო დაბალი რელიეფი - მარნეულის დეპრესიაში.

გომბორის ქედის სამხრეთით, მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის დასავლეთ საზღვარზე, მარნეულის დეპრესიაში მძიმე მინერალების და სტრატეგრაფიული ჭრილების ანალიზმა გვაჩვენა, რომ პროცესები სარტყლის სამხრეთ-დასავლეთით დღესაც აქტიურად მიმდინარეობს (Suchodoletz et al. 2016).

ზედა პლეისტოცენში, დაახლოებით 42 ათას წლის წინ, ვიდრე პლეისტოცენ-ჰოლოცენის საზღვრამდე მარნეულის დეპრესიაში დასავლეთიდან მომდინარე მდინარეები (ალგეთი, მაშავერა, ხრამი და დებედა) ახდენენ მძლავრ აგრადაციას. შესაბამისად სედიმენტების მძლავრი შედინება მდინარე მტკვარს, რომელიც ამ რეგიონში ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ მიედინება, აიძულებს აღმოსავლეთით

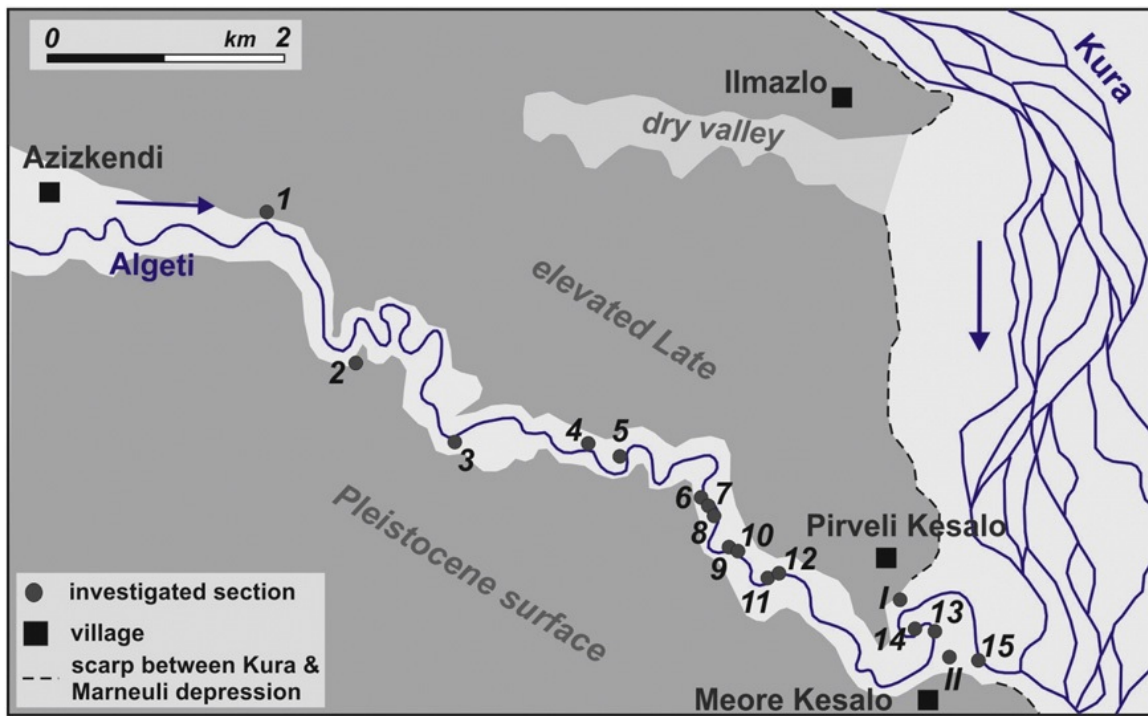
გადანაცვლებას. მსგავსი პროცესი დეტალურადაა აღწერილი Connell et al. (2012)-ის ნაშრომში. ამავე დროს დეპრესიის აღმოსავლეთით მიმდინარეობს მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის დეფორმაცია (Adamia et al. 2010). იმის გათვალისწინებით, რომ დეპრესიის ჩრდილოეთით არ არსებობს დასავლეთიდან მომდინარე მდინარეები, აღნიშნული მიგრაცია მდინარე მტკვარს მხოლოდ დეპრესიის სამხრეთში შეეხო (Suchodoletz et al. 2016). ამ პერიოდში სედიმენტების მძლავრი ნაკადის შემოდიდება და მარნეულის დეპრესიაში აგრადაცია გამოწვეული უნდა იყოს გამყინვარების პიკის დასასრულით და ნაწილობრივ გამყინვარებულ მცირე კავკასიონზე აქტიური პერიგლაციალური და გლაციალური პროცესებით, ისევე როგორც ინტენსიური დნობის გამო გამოწვეული წყალდიდობებით და სედიმენტების დიდი რაოდენობის ტარნსპორტირებით (Messenger et al. 2013).

საქართველოში ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა დაახლოებით 11 – 10 ათასი წლის წინ მნიშვნელოვნად გაიზარდა (გვიან პლეისტოცენთან შედარებით) (Connor და Kvavadze 2009), რამაც მდინარეების რეჟიმი უფრო დაასტაბილურა, შეზღუდა სედიმენტების ნაკადი და აგრადაციული რეჟიმი ჩაჭრით რეჟიმში გადაიყვანა. შესაბამისად, ამავე პერიოდში მდინარე მტკვრის სამხრეთ-დასავლეთით მიგრაცია დასავლეთური სედიმენტების ნაკადის შემცირებით და მდინარის ქცევის ტექტონიკური გავლენის ქვეშ დაბრუნებით აიხსნება. ამ პერიოდში მტკვარი სამხრეთ დასავლეთით საშუალოდ წელიწადში 1 მეტრი სიჩქარით გადაადგილდებოდა (Suchodoletz et al. 2016). მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის დეფორმაციით, კერძოდ აზეულებით, გამოწვეული მდინარე მტკვრის დასავლეთით მიგრაციის პროცესი დღესაც მიმდინარეობს, რაც იწვევს იაღლუჯას ქედის დასავლეთ კალთების და მის სამხრეთით არსებული დეპრესიის შემავსებელი სედიმენტების გვერდით ეროზიას და კლიფების ფორმირებას.

კლიმატურ-ანთროპოგენური პროცესებით გამოწვეული ლანდშაფტის დინამიკა ალგეთის ხეობის მაგალითზე - გამოყენებული მეთოდები და შედეგები

გვიან პლეისტოცენ - ჰოლოცენის პალეო გარემოს რეკონსტრუქციისთვის ხშირად გამოიყენება ფლუვიალური ჭრილები, როგორც მომხდარი პროცესების არქივი (მაგალითად იხილეთ Howard et al. 2004, Houben et al. 2006, Wolf et al. 2013). თუმცა, ვინაიდან სედიმენტაციის პროცესში მონაწილეობს კლიმატური, ტექტონიკური, ანთროპოგენური და სხვა ფაქტორები, აღნიშნული „არქივებიდან“ ინფორმაციის ამოღება და სწორი ინტერპრეტაცია საკმაოდ რთული ამოცანაა.

გვიან პლეისტოცენ - ჰოლოცენის პალეო გარემოს რეკონსტრუქცია გადაწყვეტიტად მდინარე ალგეთის აუზისთვის, რომელიც სათავეს მცირე კავკასიონის მთებში იღებს და მარნეულის დეპრესიაში უერთდება მდინარე მტკვარს. საკვლევი არეალი მოიცავდა მდინარის ბოლო 12 კმ-იან მონაკვეთს. ფლუვიალური ტერასების ფარდობითი სიმაღლეები (დღევანდელი კალაპოტიდან) გაიზომა დიფერენციული GPS-ით. აღიწერა 15 სედიმენტაციური და 2 ეროზიული ტერასა (ფიგურა 25).

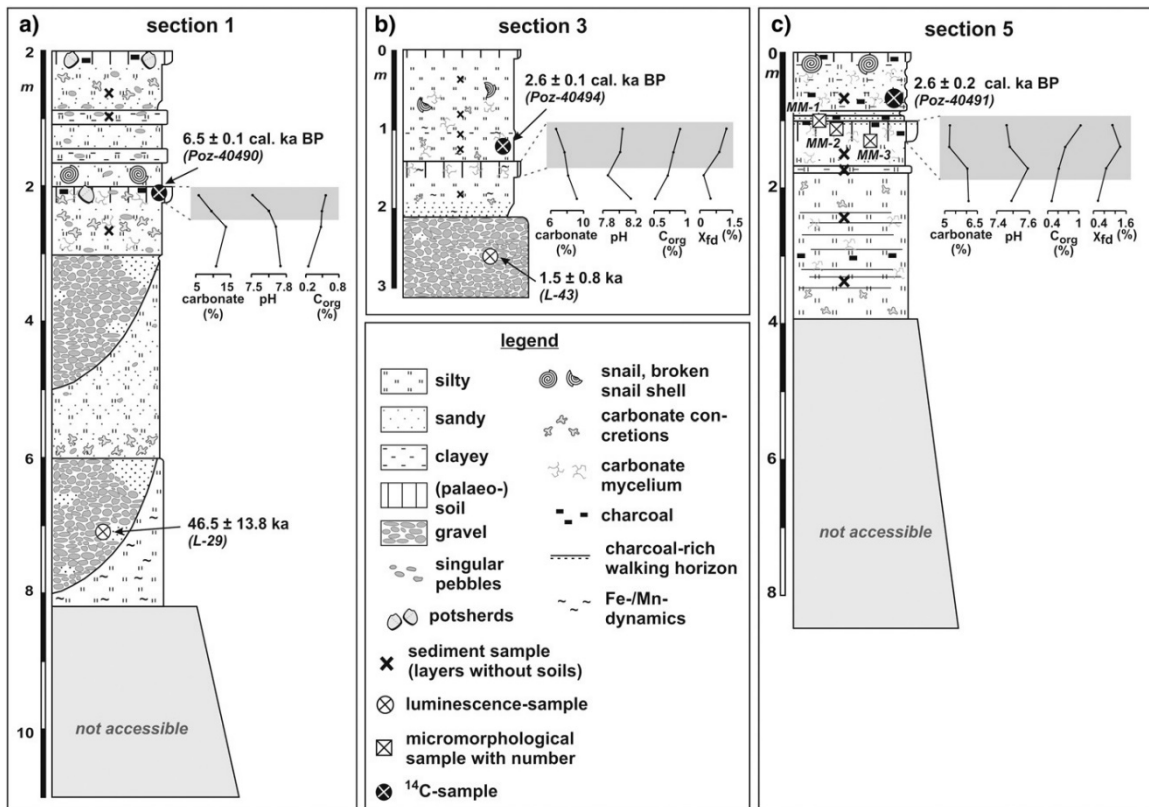


ფიგურა 25: ნაჩვენებია ჭრილების მდებარეობები. სედიმენტაციური ტერასები აღნიშნულია არაბული რიცხვებით, ხოლო ეროზიული - რომულით (Suchodoletz et al. 2015).

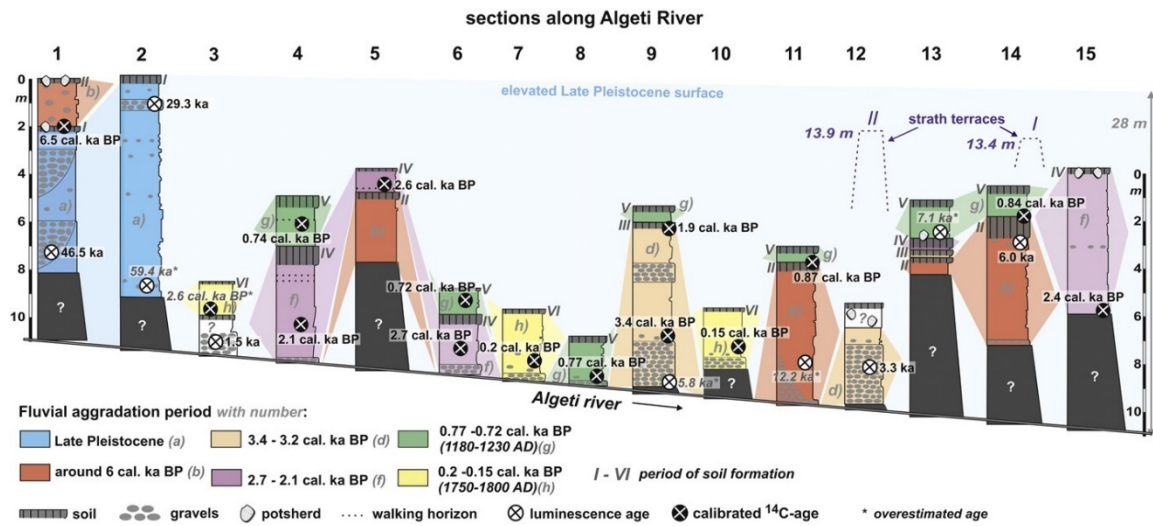
პალეო ნიადაგების ჰორიზონტი წარსული ფლუვიალური დინამიკის ძალიან მნიშვნელოვანი ინდიკატორია, რადგან ისინი მიაწოდებენ სტაბილური გეომორფოლოგიური გარემოს არსებობას. თუმცა ჭრილებში *in situ* პალეო ნიადაგების და ნიადაგების სედიმენტების გარჩევა საკმაოდ რთულია. ამიტომ გამოვიყენეთ ინფორმაცია, რომ *in situ* პალეო ნიადაგებში ზედა მიმართულებით მცირდება კარბონატულობა და pH და იზრდება C_{org} (ორგანული ნახშირი) და სიხშირეზე დამოკიდებული მაგნიტური მგრძნობელობა (frequency dependent magnetic susceptibility (χ_{fd})). ჯამში შემოწმდა 42 ნიმუში საექვო ჰორიზონტებიდან. ასევე განხორციელდა მიკრომორფოლოგიური ანალიზი სამი ორიენტირებული ნიმუშიდან. ნახშირის 15 ნიმუში დათარიღდა რადიონახშირბადული მეთოდით პოზნანის ლაბორატორიაში და დაკალიბრდა პროგრამა Calpal_A-ით Hulu 2007-ის მრუდის გამოყენებით ღამით აღებული 9 ნიმუში დათარიღდა ბეირუთის ლუმინესცენცურ ლაბორატორიაში ლუმინესცენცური მეთოდით. სტიმულაცია განხორციელდა დიოდის ნათურების ინფრაწითელი გამოსხივებით (Suchodoletz et al. 2015).

დიფერენციული GPS-ით გაზომვამ გვაჩვენა, რომ შემადგენელი გვიანპლეისტოცენური ზედაპირი ღრმადია დღევანდელი ალგეთის ხეობის მიერ

ჩაჭრილი. შესაბამისად, მდინარე ალგეთს ქვედა დინებაში აქვს რამდენიმე საფეხურის ტერასა განვითარებული - 2-4 მეტრ, 4-8.5 მეტრ და 8.5 და მეტ სიმაღლეზე). აღსანიშნავია, რომ მდინარე მტკვართან შესართავისკენ, ანუ სადაც უფრო სქელი აკუმულაციური ტერასებია, იზრდება ჩაჭრის სიღრმეებიც. სედიმენტური ანალიზის (პალეონიადაგების განხრით) და დათარიღების ნიმუში 3 ჭრილიდან ნაჩვენებია ფიგურა 26-ში, ხოლო შედეგების სრული კომპილაცია მოცემულია ფიგურა 27-ში. აღსანიშნავია ნიმუში Algeti 3, რომლის ასაკი სავარაუდოდ „დაძველებულია“ (Suchodoletz et al. 2015), რაც იმას ნიშნავს რომ ის შრეზე უფრო ძველია.



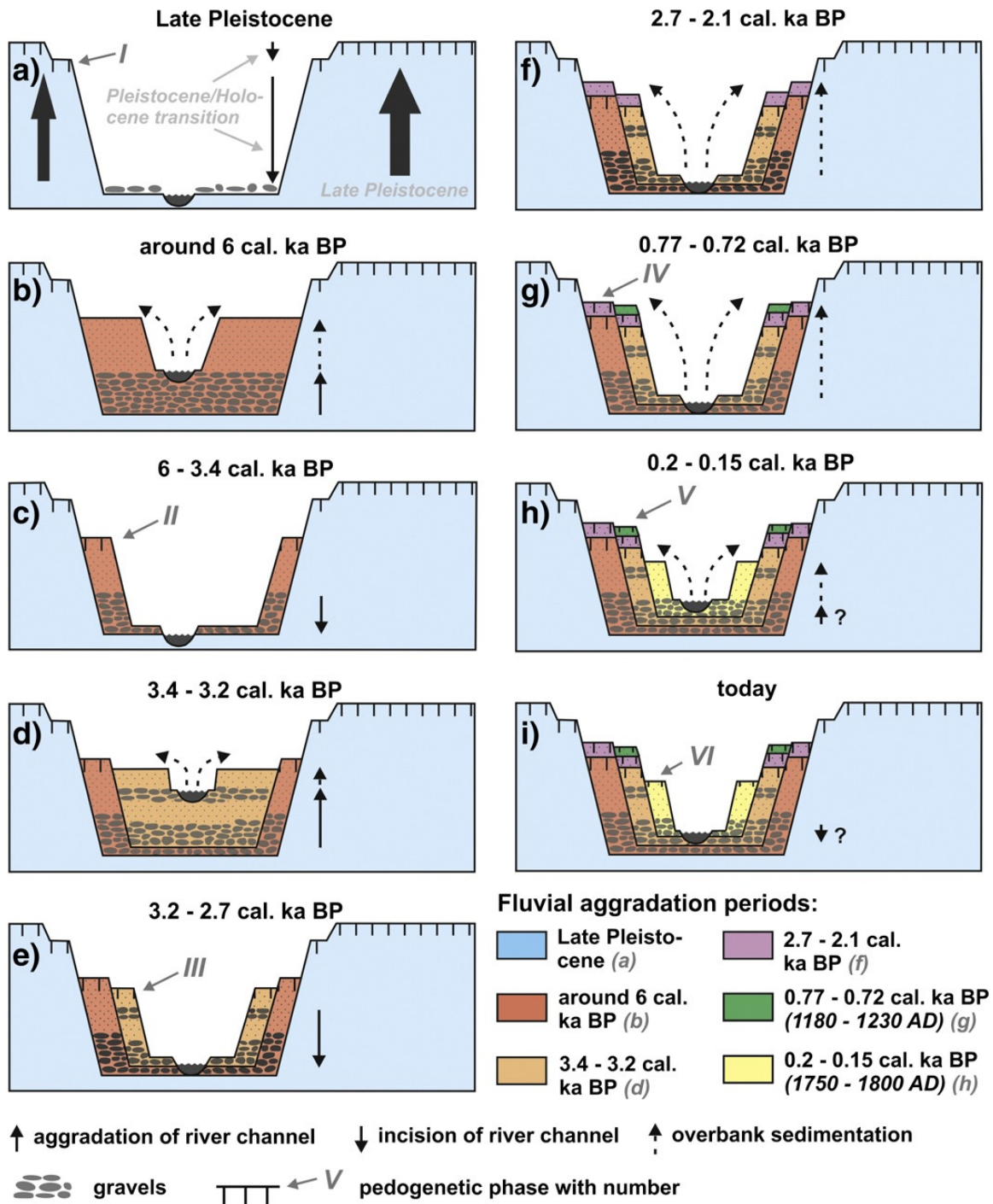
ფიგურა 26: ნაჩვენებების ჭრილების 1, 3 და 5-ის აგებულება, დათარიღების ადგილები და შედეგები, პალეო ნიადაგის ანალიზების დეტალები (Suchodoletz et al. 2015).



ფიგურა 27: 15 აკუმულაციურ და 2 ეროზიულ ტერასაზე ანალიზების შედეგების კომპილაცია მდინარე ალგეთის გასწვრივ (Suchodoletz et al. 2015).

განხორციელებულმა ანალიზებმა შესაძლებელი გახადა შემდეგი ფლუვიალური ფაზების გამოყოფა :

Algeti - fluvial dynamics



ფიგურა 28: მდინარე ალგეთის ფლუვიალური ფაზები გვიან პლეისტოცენ-ჰოლოცენში (Suchodoletz et al. 2015).

1. გვიან პლეისტოცენის სედიმენტაცია და ჩაჭრა, რაც ლუმინესცენტური დათარიღების მიხედვით დაახლოებით 50-30 ათასი წლის წინ მიმდინარეობდა - მდინარეში სედიმენტაციური პროცესები გამოწვეული უნდა იყოს ზედა დინებაში, მცირე კავკასიონზე, გლაციალური და პერიგლაციალური

პროცესებით, რის დროსაც დნობა იწვევდა წყლის ხარჯის სეზონურ ზრდას, წყალდიდობას და ჭარბი სედიმენტების ქვედა დინებისკენ ტრანსპორტირებას. აღნიშნული პროცესები იგივე პერიოდში მიმდინარეობდა ხმელთაშუა ზღვის და მცირე აზიის რეგიონშიც (Woodward et al. 1995, Wolf et al. 2013). სედიმენტაციას მოყვა ჩაჭრის პერიოდი, რომელიც დაახლოებით 30 ათასი წლის წინ მცირე ხნით შეჩერდა. ჩაჭრითი პროცესების გამო გვიანპლესტოცენური სედიმენტების დატბორვა აღარ მიმდინარეობდა, რის გამოც აღნიშნულ მასალაზე დაიწყო და დღემდე გრძელდება ნიადაგწარმომქმნელი პროცესები (პედოგენური ფაზა 1). აღსანიშნავია, რომ ჩაჭრა, რომელიც გვიან პლესტოცენში დაიწყო და 6 ათას წელზე მეტი ხნის წინ დასრულდა იყო იმდენად მასშტაბული რომ მსგავსი მხოლოდ თანამედროვე პერიოდში მდინარე მტკვრის დასავლეთით მიგრაციის გამო მიმდინარეობს და გამოიხატება გვიან პლესტოცენის სედიმენტებზე სკარპების ჩამოყალიბებაში. ადრეულ პოლოცენში ადამიანის მოქმედების მასშტაბები იმდენად პატარა იყო, რომ მცირე წყალშემკრები აუზის მქონე (ფართობი დაახლოებით 768 კმ²) მდინარე ალგეთის ხეობაში მთავარი გავლენა კლიმატის ცვლილებით გამოწვეულ პროცესებს ჰქონდა. კერძოდ, როგორც კვლევებიდან ჩანს 8 ათასი წლის წინ, სამხრეთ-აღმოსავლეთ საქართველოში, ადამიანის სამეურნეო საქმიანობა ლანდშაფტზე და მცენარეულ საფარზე მნიშვნელოვან გავლენას ვერ ახდენდა, რაც მცირედით შეიცვალა 5 ათასი წლის წინ (Connor და Sagona 2007) და დომინანტ ფაქტორად იქცა 3 ათასი წლის წინ (Connor და Kvavadze 2009). თუმცა, კლიმატის ცვლილებით გამოწვეული მცენარეული საფარის ცვლილების კვალი ალგეთის ჭრილებში მინიმუმ შუა პოლოცენამდე მაინც გვხვდება (ფიგურა 28, a) (Suchodoletz et al. 2015);

2. სედიმენტაცია დაახლოებით 6 ათასი წლის წინ - თუ შევადარებთ მცირე კავკასიონის ჰაერის პალეო ტემპერატურებს (Connor და Sagona 2007) და საქართველოს პოლოცენის ატმოსფერული ნალექების მონაცემებს (Connor და Kvavadze 2009), გამოჩნდება, რომ ეს ფაზა შედარებით დაბალი ტემპერატურების და მცირე ნალექიანობის პირობებში მიმდინარეობდა. ზოგადად, სამხრეთ-აღმოსავლეთ საქართველოს მსგავს სემიარიდულ ლანდშაფტებში ნოტიო

კლიმატი იწვევს მცენარეული საფარის განვითარებას, ლანდშაფტების სტაბილიზაციას და წყალდიდობების შემცირებას. ხოლო უფრო მშრალი კლიმატის პირობებში იზრდება ეროზია და ხშირად ყალიბდება წყალდიდობები (Zielhofer და Faust 2008). მცირე კავკასიონზე, მდინარე ალგეთის სათავეებთან, ტყის ფართობის ზრდა პირველად 11-8.3 ათასი წლის წინ დაიწყო (Connor და Sagona 2007, Messenger et al. 2013). თუმცა ტყეებმა ალგეთის შუა წელისკენ მხოლოდ 6 ათასი წლის წინ ჩამოადწია (Connor და Sagona 2007), შესაბამისად 6 ათასი წლის წინანდელი სედიმენტაციის ფაზა ჯერ კიდევ უტყეო ფერდობების, შედარებით გრილი და მშრალი კლიმატის პირობებში მიმდინარეობდა (ფიგურა 28, b) (Suchodoletz et al. 2015);

3. 6 -3.4 ათასი წლების წინ შუალედში მიმდინარე ჩაჭრა და პედოგენეზისი - აღნიშნული ფაზა ემთხვევა საქართველოში შედარებით თბილი და ნოტიო კლიმატის არსებობას. ამ პერიოდში სამხრეთ-აღმოსავლეთ საქართველო ძირითადად ტყეებითაა დაფარული, რაც იწვევს ფერდობების და ჩამონადენის სტაბილიზაციას (ფიგურა 28, c) (Suchodoletz et al. 2015);
4. სედიმენტაცია 3.4-სა 3.2 ათას წლებს შორის - 5 ათასი წლის წინ ადამიანის გაზრდილ ზემოქმედებას დაემატა საქართველოში 4.5 ათასი წლის წინ დაწყებული ნალექების შემცირება და 4 ათასი წლის წინანდელი აგრილება (Connor და Sagona 2007), რამაც მცირე კავკასიონზე სავარაუდოდ გამოიწვია ლანდშაფტების დესტაბილიზაცია და მდინარეში სედიმენტების ჭარბი რაოდენობით მოხვედრა. აღნიშნულ ფაზა შესაძლოა უფრო ხანგრძლივად გრძელდებოდა ვიდრე ჩვენ მოგვეპოვება მონაცემები (ფიგურა 28, d) (Suchodoletz et al. 2015);
5. ჩაჭრა და პედოგენეზისი 3.2 – 2.7 ათასი წლის წინ - აღნიშნული ფაზის გამომწვევი მიზეზების შესახებ ინფორმაცია არ მოგვეპოვება (ფიგურა 28, e) (Suchodoletz et al. 2015);
6. სედიმენტაცია 2.7 – 2.1 ათასი წლის წინ - 3 ათასი წლის წინ მნიშვნელოვნად გაიზარდა ანთროპოგენური სტრესი, რაც პირველ რიგში წალკის პლატოზე, ალგეთის სათავეებთან ხელოვნურად გამოწვეულ ტყის ხანძრებში გამოიხატა (Connor და Sagona 2007). დესტაბილიზებული ფერდობებიდან სედიმენტები

მდინარეში მოხვდა, ხოლო შემდეგ ალგეთის შუა და ქვედა დინებაში დაილექა. ამ ფაზის შემდეგ დაიწყო ჰაერის დათბობა და ატმოსფერული ნალექების ზრდა, რამაც ფერდობების სტაბილურობას შეუწყო ხელი და შესაბამისად $2.1 - 0.77$ ათასი წლის წინ შეწყდა მდინარეული ნალექების აკუმულაციაც (ფიგურა 28, f) (Suchodoletz et al. 2015).

სედიმენტაციის ბოლო ორი ფაზის დაკავშირება შესაძლებელია საქართველოში მომხდარ ისტორიულ მოვლენებთან, კერძოდ:

7. სედიმენტაცია ა.წ. 1180 – 1230 წლებში - ეს პერიოდი განეკუთვნება საქართველოს ოქროს ხანას, რა დროსაც მოსახლეობის სიმჭიდროვე და აქტივობა პიკს აღწევს, რაც შესაძლოა გამოიხატებოდეს ტყის რესურსების ინტენსიურ მოპოვებასა და სამეურნეო საქმიანობის მასშტაბების ზრდაში, რაც ფერდობების დესტაბილიზაციის და სედიმენტების ზრდის წინაპირობაა. მიუხედავად იმისა, რომ ამ პერიოდში ალგეთის ხეობაში მიმდინარე ისტორიულ პროცესებზე კონკრეტული ინფორმაცია არ გვაქვს, ვთვლით რომ ზემოთჩამოთვლილი ფაქტორები ამ ხეობისთვისაც აქტუალური უნდა ყოფილიყო (ფიგურა 28, g) (Suchodoletz et al. 2015);
8. სედიმენტაცია ა.წ. 1750 – 1800 წლებში - ეს პერიოდი ემთხვევა რეგიონში აღამაჰმად ხანის შემოჭრას და ზოგადად მოსახლეობის რაოდენობის მკვეთრ შემცირებას. სამეურნეო მიწების მიტოვებას შესაძლოა ნიადაგის ეროზია და სედიმენტების რაოდენობის ზრდა გამოეწვია, რაც აღნიშნული სედიმენტაციური ფაზის ახსნას უნდა წარმოადგენდეს (ფიგურა 28, h) (Suchodoletz et al. 2015).

კვლევის ფარგლებში ჩვენს მიერ იდენტიფიცირებულ იქნა ეროზია-სედიმენტაციის სხვადასხვა ფაზა და მათი ასაკები, რაც შეეხება ზემოთჩამოთვლილ გამომწვევ მიზეზებს - ეს წარმოადგენს ჩვენი მცდელობის შედეგს რომ შეგვეგროვებინა მაქსიმალური ინფორმაცია რეგიონში მომხდარი ბუნებრივი და ანთროპოგენური მოვლენების შესახებ და შემდეგ დაგვეკავშირებინა ჩვენი კვლევის შედეგებთან. ეს ბუნებრივია არ გამორიცხავს

იმას, რომ ესა თუ ის ფაზა ძირითადად გამოწვეული იყოს ისეთი მოვლენის მიერ რის შესახებაც ჩვენ ინფორმაცია არ გვაქვს.

დასკვნები და რეკომენდაციები

მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის დასავლეთ სეგმენტზე (გომბორის ქედზე) ჩატარებულმა კვლევამ გვაჩვენა, რომ მეოთხეულ პერიოდში რეგიონში ინტენსიური ტექტონიკური პროცესების გავლენით მომხდარია რადიკალური ცვლილებები - წარმოქმნილია დაახლოებით 2 კმ სიმაღლის ქედი, რევერსულადაა შეცვლილი მდინარეების კალაპოტები, რაც ფაქტიურად ახალი მდინარეების ჩამოყალიბებას გულისხმობს და ატმოსფერული ნალექების განაწილების კანონზომიერებაში მნიშვნელოვნადაა წარმოდგენილი ახლადწარმოქმნილი გომბორის ქედის ტოპოგრაფია. ქედისთვის დამახასიათებელი მეწყრულობაც ძირითადად ტექტონიკურ აზევებით და მეორადად ატმოსფერული ნალექებით კონტროლდება.

სარტყლის სამხრეთით, მარნეულის დეპრესიაში ფლუვიალური პროცესების კვლევით დადგინდა, რომ მდინარეების კალაპოტების მიგრაცია მტკვრის ნაოჭა-შეცოცებათა სარტყლის დეფორმაციით კონტროლდება. თუმცა აქ პალეო გარემოს ფორმირებაში არანაკლებ მნიშვნელოვანი აღმოჩნდა პალეო კლიმატი, მასთან დაკავშირებული ლანდშაფტების დინამიკა და შესაბამისად სედიმენტების ბიუჯეტი. უფრო მეტიც, პროცესების ზოგიერთ ფაზაში, კლიმატის გავლენა მდინარეების კალაპოტის ფორმირებაში ტექტონიკაზე მნიშვნელოვანი აღმოჩნდა.

მდინარე ალგეთის ფლუვიალური ჭრილებიდან მიღებული მონაცემების და დროში პარალელური ბუნებრივი თუ ანთროპოგენური პროცესების კორელაციით, გამოჩნდა რომ პალეო გარემოს ფორმირებაში ტექტონიკის და კლიმატის გარდა, ადამიანის როლი 8 ათასი წლის წინიდან მოყოლებული მუდმივად იზრდება და 3

ათასი წლის წინ ფაქტიურად ერთ-ერთი ძირითადი წარმმართველი ფაქტორი ხდება.

ნაშრომში ასახულმა კვლევებმა ზოგიერთი რეგიონის მაგალითზე გვაჩვენა, რომ საქართველოს მეოთხეული პერიოდის გარემო პლეისტოცენიდან დღემდე საკმაოდ მნიშვნელოვნადაა შეცვლილი. ეს ცვლილებები გეოლოგიური თვალსაზრისით ძალიან სწრაფადაა მომხდარი და რაც ყველაზე მნიშვნელოვანია, აღნიშნული დინამიური პროცესები კვლავაც გრძელდება.

ნაშრომი ბუნებრივია არასრულყოფილია და გააჩნია მონაცემების და ანალიზების ნაკლებობა, რაც შეიძლება ითქვას ძალიან მნიშვნელოვანია მსგავსი ტიპის კვლევებში.

ნაშრომს გააჩნია დანაკლისი დასავლეთ საქართველოს მონაცემების შესახებ. განხორციელებული კვლევების და ანალიზების უმრავლესობა საკმაოდ დიდ ფინანსურ და დროით დანახარჯებს მოითხოვდა. ფინანსების მცირე ნაწილი მოძიებული იყო ქართული წყაროებიდან, ხოლო ძირითადი კონტრიბუცია განხორციელდა კოლაბორატორების მიერ, რომელთა ინტერესს ძირითადად აღმოსავლეთ და სამხრეთ საქართველო შეადგენდა. შესაბამისად კვლევის ხარისხისთვის ვარჩიეთ სრული რესურსების ერთი მიმართულებით კონცენტრაცია და არა გაბნევა.

გამოყენებული ლიტერატურა

- Adamia, Sh, V. Alania, A. Chabukiani, G. Chichua, O. Enukidze, and N. Sadradze. 2010. "Evolution of the Late Cenozoic Basins of Georgia (SW Caucasus): A Review." *Geological Society Special Publication* 340: 239–59. <https://doi.org/10.1144/SP340.11>.
- Ahnert, Frank. 1970. "Functional Relationships between Denudation, Relief, and Uplift in Large, Mid-Latitude Drainage Basins." *American Journal of Science* 268: 243–63. <https://doi.org/10.2475/ajs.268.3.243>.
- Alania, Victor, A. Chabukiani, R. Chagelishvili, Onice Enukidze, K. Gogrichiani, A. Razmadze, and Nino Tsereteli. 2017. "Growth Structures, Piggy-Back Basins and Growth Strata of the Georgian Part of the Kura Foreland Fold-Thrust Belt: Implications for Late Alpine Kinematic Evolution." *Geological Society, London, Special Publications* 428: 171–85. <https://doi.org/10.1144/SP428.5>.
- Allmendinger, Richard W., Nestor Cardozo, and Donald M. Fisher. 2011. *Structural Geology Algorithms*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511920202>.
- Avdeev, Boris, and Nathan A. Niemi. 2011. "Rapid Pliocene Exhumation of the Central Greater Caucasus Constrained by Low-Temperature Thermochronometry." *Tectonics*. <https://doi.org/10.1029/2010TC002808>.
- Baak, Christiaan G.C. Van, Arjen Grothe, Keith Richards, Marius Stoica, Elmira Aliyeva, Gareth R. Davies, Klaudia F. Kuiper, and Wout Krijgsman. 2019. "Flooding of the Caspian Sea at the Intensification of Northern Hemisphere Glaciations." *Global and Planetary Change* 174: 153–63. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.01.007>.
- Blain, Hugues Alexandre, Jordi Agustí, David Lordkipanidze, Lorenzo Rook, and Massimo Delfino. 2014. "Paleoclimatic and Paleoenvironmental Context of the Early Pleistocene Hominins from Dmanisi (Georgia, Lesser Caucasus) Inferred from the Herpetofaunal Assemblage." *Quaternary Science Reviews* 105: 136–50. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.10.004>.
- Bookhagen, Bodo, and Manfred R. Strecker. 2008. "Orographic Barriers, High-Resolution TRMM Rainfall, and Relief Variations along the Eastern Andes." *Geophysical Research Letters* 35 (6): 1–6. <https://doi.org/10.1029/2007GL032011>.
- . 2012. "Spatiotemporal Trends in Erosion Rates across a Pronounced Rainfall Gradient: Examples from the Southern Central Andes." *Earth and Planetary Science Letters* 327–328: 97–110. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2012.02.005>.
- Buachidze, I, K Gigauri, I Zviadadze, and T Pkhakadze. 1950. "Groundwater Resource Estimations of Alazani Artesian Basin (in Russian)." Tbilisi: Ministry of Geology of USSR.
- Buachidze, I, T Pkhakadze, and Sh Tsitsilashvili. 1952. "Alazani Artesian Basin (In Russian)." Tbilisi.
- Chkhikvadze, V, G Mchedlidze, N Burchak-Abramovich, O Bendukidze, D Burchak, Ts

- Gabelaia, N Amiranashvili, G Meladze, E Kharabadz, and N Chkareuli. 2000. "Review of the Localities of Tertiary Vertebrates of Georgia (In Russian)." In , 153–60. Tbilisi: A. Janelidze Geological Institute, Georgian Academy of Sciences.
- Connell, Sean D., Wonsuck Kim, Chris Paola, and Gary A. Smith. 2012. "Fluvial Morphology and Sediment-Flux Steering of Axial-Transverse Boundaries in an Experimental Basin." *Journal of Sedimentary Research* 82 (5): 310–25. <https://doi.org/10.2110/jsr.2012.27>.
- Connor, Simon E., and Eliso V. Kvavadze. 2009. "Modelling Late Quaternary Changes in Plant Distribution, Vegetation and Climate Using Pollen Data from Georgia, Caucasus." *Journal of Biogeography* 36 (3): 529–45. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.02019.x>.
- Connor, Simon, and Antonio Sagona. 2007. "Environment and Society in the Late Prehistory of Southern Georgia, Caucasus." *Les Cultures Du Caucase*, 22–36. [https://minerva-access.unimelb.edu.au/bitstream/handle/11343/55213/Minerva_Text A - Connor_Sagona.pdf?sequence=1%0Ahttps://www.academia.edu/3185186/Connor_S_and_Sagona_A_Environment_and_society_in_the_late_prehistory_of_southern_Georgia_Caucasus](https://minerva-access.unimelb.edu.au/bitstream/handle/11343/55213/Minerva_Text_A_-_Connor_Sagona.pdf?sequence=1%0Ahttps://www.academia.edu/3185186/Connor_S_and_Sagona_A_Environment_and_society_in_the_late_prehistory_of_southern_Georgia_Caucasus).
- Dibiase, Roman A, Kelin X Whipple, Arjun M Heimsath, and William B Ouimet. 2010. "Landscape Form and Millennial Erosion Rates in the San Gabriel Mountains , CA." *Earth and Planetary Science Letters* 289 (1–2): 134–44. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2009.10.036>.
- Ditchburn, and Whitehead. 1994. "The Separation of ^{10}Be from Silicates." *3rd Workshop of the South Pacific Environmental Radioactivity Association*.
- Flint, J. J. 1974. "Stream Gradient as a Function of Order, Magnitude, and Discharge." *Water Resources Research* 10 (5): 969–73. <https://doi.org/10.1029/WR010i005p00969>.
- Forte, A. M., E. Cowgill, T. Bernardin, O. Kreylos, and B. Hamann. 2010. "Late Cenozoic Deformation of the Kura Fold-Thrust Belt, Southern Greater Caucasus." *Bulletin of the Geological Society of America* 122 (3–4): 465–86. <https://doi.org/10.1130/B26464.1>.
- Forte, Adam M., Eric Cowgill, Ibrahim Murtuzayev, Talat Kangarli, and Marius Stoica. 2013. "Structural Geometries and Magnitude of Shortening in the Eastern Kura Fold-Thrust Belt, Azerbaijan: Implications for the Development of the Greater Caucasus Mountains." *Tectonics* 32 (3): 688–717. <https://doi.org/10.1002/tect.20032>.
- Forte, Adam M., Eric Cowgill, and Kelin X. Whipple. 2014. "Transition from a Singly Vergent to Doubly Vergent Wedge in a Young Orogen: The Greater Caucasus." *Tectonics* 33 (11): 2077–2101. <https://doi.org/10.1002/2014TC003651>.
- Forte, Adam M., Dawn Y. Sumner, Eric Cowgill, Marius Stoica, Ibrahim Murtuzayev, Talat Kangarli, Mikheil Elashvili, Tea Godoladze, and Zurab Javakhishvili. 2015. "Late Miocene to Pliocene Stratigraphy of the Kura Basin, a Subbasin of the South Caspian Basin: Implications for the Diachroneity of Stage Boundaries." *Basin Research* 27 (3): 247–71. <https://doi.org/10.1111/bre.12069>.

- Forte, Adam M, and Kelin X Whipple. 2018. "Short Communication : The Topographic Analysis Kit (TAK) for TopoToolbox." *Earth Surface Dynamics*, no. July: 1–9. <https://doi.org/10.5194/esurf-2018-57>.
- Forte, Adam M, Kelin X Whipple, Bodo Bookhagen, and Matthew W Rossi. 2016. "Decoupling of Modern Shortening Rates , Climate , and Topography in the Caucasus." *Earth and Planetary Science Letters* 449: 282–94. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.06.013>.
- Gallen, Sean F., and Karl W. Wegmann. 2017. "River Profile Response to Normal Fault Growth and Linkage: An Example from the Hellenic Forearc of South-Central Crete, Greece." *Earth Surface Dynamics* 5 (1): 161–86. <https://doi.org/10.5194/esurf-5-161-2017>.
- Godoladze, T., E. Sandvol, I. Bondar, and R. Gok. n.d. "Improved Seismic Catalog in the Caucasus." (*In Preparation*).
- Gosse, and Philips. 2001. "Terrestrial in Situ Cosmogenic Nuclides:Theory and Application." *Quaternary Science Reviews* 20: 1475–1560.
- Granger, Darryl E. 2006. "A Review of Burial Dating Methods Using ^{26}Al and ^{10}Be ." *Special Paper 415: In Situ-Produced Cosmogenic Nuclides and Quantification of Geological Processes* 2415 (01): 1–16. [https://doi.org/10.1130/2006.2415\(01\)](https://doi.org/10.1130/2006.2415(01)).
- Granger, Darryl E., and Paul F. Muzikar. 2001. "Dating Sediment Burial with in Situ-Produced Cosmogenic Nuclides: Theory, Techniques, and Limitations." *Earth and Planetary Science Letters* 188 (1–2): 269–81. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(01\)00309-0](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00309-0).
- Granger, Darryl E., James W. Kirchner, and Robert C. Finkel. 1997. "Quaternary Dncutting Rate of the New River, Virginia, Measured from ^{26}Al and ^{10}Be in Cave-Deposited Alluvium." *Geology* 25 (2): 107–10. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1997\)025<0107:QDROTN>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1997)025<0107:QDROTN>2.3.CO;2).
- Houben, Peter, Thomas Hoffmann, Andreas Zimmermann, and Richard Dikau. 2006. "Land Use and Climatic Impacts on the Rhine System (RheinLUCIFS): Quantifying Sediment Fluxes and Human Impact with Available Data." *Catena* 66 (1–2): 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.07.009>.
- Howard, A. J., M. G. Macklin, D. W. Bailey, S. Mills, and R. Andreescu. 2004. "Late-Glacial and Holocene River Development in the Teleorman Valley on the Southern Romanian Plain." *Journal of Quaternary Science* 19 (3): 271–80. <https://doi.org/10.1002/jqs.805>.
- Humphrey, N. F., and S. K. Konrad. 2000. "River Incision or Diversion in Response to Bedrock Uplift." *Geology* 28 (1): 43–46. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2000\)028<0043:RIODIR>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2000)028<0043:RIODIR>2.3.CO;2).
- Jackson, J. 1992. "Partitioning of Strike-Slip and Convergent Motion between Eurasia and Arabia in Eastern Turkey and the Caucasus." *Journal of Geophysical Research* 97 (B9): 12471–79. <https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2009.04.002>.

- Jackson, James, and Dan Mckenzie. 1988. "The Relationship between Plate Motions and Seismic Moment Tensors, and the Rates of Active Deformation in the Mediterranean and Middle East." *Geophysical Journal* 93: 45–73.
- Jones, R. W., and M. D. Simmons. 1996. "A Review of the Stratigraphy of Eastern Paratethys (Oligocene-Holocene)." *Bulletins of Natural History Museum of London* 52 (27): 25–49.
- Kereselidze, K. 1950. "Alazani Artesian Basin (In Russian)." Tbilisi.
- Kirby, E, and Kelin X. Whipple. 2001. "Quantifying Rockuplift Rates via Stream pro Le Analysis." *Geology* 29 (5): 415–18. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2001\)029<0415:QDRURV>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<0415:QDRURV>2.0.CO;2).
- Kirby, Eric, Kelin X. Whipple, Wenqing Tang, and Zhiliang Chen. 2003. "Distribution of Active Rock Uplift along the Eastern Margin of the Tibetan Plateau: Inferences from Bedrock Channel Longitudinal Profiles." *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 108 (B4). <https://doi.org/10.1029/2001JB000861>.
- Kirby, Eric, and Kelin X Whipple. 2012. "Expression of Active Tectonics in Erosional Landscapes." *Journal of Structural Geology* 44: 54–75. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2012.07.009>.
- Kohl, C. P., and K. Nishiizumi. 1992. "Chemical Isolation of Quartz for Measurement of In-Situ -Produced Cosmogenic Nuclides." *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56 (9): 3583–87. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(92\)90401-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(92)90401-4).
- Krijgsman, W., A. Tesakov, T. Yanina, S. Lazarev, G. Danukalova, C. G.C. Van Baak, J. Agustí, et al. 2019. "Quaternary Time Scales for the Pontocaspian Domain: Interbasinal Connectivity and Faunal Evolution." *Earth-Science Reviews* 188 (July 2018): 1–40. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.10.013>.
- Lague, Dimitri. 2014. "The Stream Power River Incision Model: Evidence, Theory and Beyond." *Earth Surface Processes and Landforms* 39 (1): 38–61. <https://doi.org/10.1002/esp.3462>.
- Larsen, Isaac J., and David R. Montgomery. 2012. "Landslide Erosion Coupled to Tectonics and River Incision." *Nature Geoscience* 5 (7): 468–73. <https://doi.org/10.1038/ngeo1479>.
- Lazarev, Sergei, Elisabeth L. Jorissen, Sabrina van de Velde, Lea Rausch, Marius Stoica, Frank P. Wesselingh, Christiaan G.C. Van Baak, Tamara A. Yanina, Elmira Aliyeva, and Wout Krijgsman. 2019. "Magneto-Biostratigraphic Age Constraints on the Palaeoenvironmental Evolution of the South Caspian Basin during the Early-Middle Pleistocene (Kura Basin, Azerbaijan)." *Quaternary Science Reviews* 222 (September): 105895. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.105895>.
- Maria A. Mange, Heinz F. W. Maurer. 1992. *Heavy Minerals in Colour. Choice Reviews Online*. London: Springer, Dordrecht. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-011-2308-2>.
- Messenger, Erwan, Soumaya Belmecheri, Ulrich Von Grafenstein, Sébastien Nomade, Vincent Ollivier, Pierre Voinchet, Simon Puaud, et al. 2013. "Late Quaternary Record of the

- Vegetation and Catchment-Related Changes from Lake Paravani (Javakheti, South Caucasus).” *Quaternary Science Reviews* 77: 125–40.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.07.011>.
- Miao, Xiaodong, Huayu Lu, Zhen Li, and Guangchao Cao. 2008. “Paleocurrent and Fabric Analyses of the Imbricated Fluvial Gravel Deposits in Huangshui Valley, the Northeastern Tibetan Plateau, China.” *Geomorphology* 99 (1–4): 433–42.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.12.005>.
- Mifsud, Charles, Toshiyuki Fujioka, and David Fink. 2013. “Extraction and Purification of Quartz in Rock Using Hot Phosphoric Acid for in Situ Cosmogenic Exposure Dating.” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 294: 203–7. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2012.08.037>.
- Mitchell, Nate A., and Brian J. Yanites. 2019. “Spatially Variable Increase in Rock Uplift in the Northern U.S. Cordillera Recorded in the Distribution of River Knickpoints and Incision Depths.” *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 124 (5): 1238–60.
<https://doi.org/10.1029/2018JF004880>.
- Montgomery, David R., and Mark T. Brandon. 2002. “Topographic Controls on Erosion Rates in Tectonically Active Mountain Ranges.” *Earth and Planetary Science Letters* 201 (3–4): 481–89. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(02\)00725-2](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(02)00725-2).
- Mosar, Jon, Talat Kangarli, Martin Bochud, Ulrich A. Glasmacher, Annick Rast, Marie-Francoise Brunet, and Marc Sosson. 2010. “Cenozoic-Recent Tectonics and Uplift in the Greater Caucasus: A Perspective from Azerbaijan.” *Geological Society, London, Special Publications* 340 (1): 261–80. <https://doi.org/10.1144/SP340.12>.
- Nichols, Gary. 2009. *Sedimentology and Stratigraphy. 2nd Edition*. John Wiley & Sons Ltd.,
- Onur, T, Gok, R, Godoladze, T, Gunia, I, Boichenko, G, Buzaladze, A, Tumanova, N, Dzmanashvili, M, Sukhishvili, L, Javakishvili, Z, Cowgill, E, Bondar, I, and Yetirmishli, G. Fri. 2019. “PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ASSESSMENT FOR GEORGIA.” *Lawrence Livermore National Lab. (LLNL), Livermore, CA (United States)*.
<https://doi.org/10.2172/1511856>.
- Papava, D. 1976. “Geological Formation and Oil and Gas Capacity of the Middle Area of Kura Basin (in Russian).” Tbilisi.
- Reilinger, Robert, Simon McClusky, Philippe Vernant, Shawn Lawrence, Semih Ergintav, Rahsan Cakmak, Haluk Ozener, et al. 2006. “GPS Constraints on Continental Deformation in the Africa-Arabia-Eurasia Continental Collision Zone and Implications for the Dynamics of Plate Interactions.” *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 111 (5): 1–26. <https://doi.org/10.1029/2005JB004051>.
- Rossi, Matthew W., Mark C. Quigley, John M. Fletcher, Kelin X. Whipple, J. Jesús Díaz-Torres, Christian Seiler, L. Keith Fifield, and Arjun M. Heimsath. 2017. “Along-Strike Variation in Catchment Morphology and Cosmogenic Denudation Rates Reveal the Pattern and History of Footwall Uplift, Main Gulf Escarpment, Baja California.” *Bulletin of the Geological Society of America* 129 (7–8): 837–54.

<https://doi.org/10.1130/B31373.1>.

- Schwanghart, W., and D. Scherler. 2014. "Short Communication: TopoToolbox 2 - MATLAB-Based Software for Topographic Analysis and Modeling in Earth Surface Sciences." *Earth Surface Dynamics* 2 (1): 1–7. <https://doi.org/10.5194/esurf-2-1-2014>.
- Sidorenko, A, and P Gamkrelidze, eds. 1964. "Geology of USSR." In *SSSR Geology (In Russian)*, 1–648. Moscow.
- Snyder, Noah P, Keli X. Whipple, Gregory E Tucker, Dorothy J Merritts, and Marshall College. 2000. "Stream Profiles in the Mendocino Triple Junction Region , Northern California." *Geological Society of America Bulletin* 112 (8): 1250–63. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2000\)112<1250:lrrtfd>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2000)112<1250:lrrtfd>2.3.co;2).
- Sokhadze, G., M. Floyd, T. Godoladze, R. King, E. S. Cowgill, Z. Javakhishvili, G. Hahubia, and R. Reilinger. 2018. "Active Convergence between the Lesser and Greater Caucasus in Georgia: Constraints on the Tectonic Evolution of the Lesser–Greater Caucasus Continental Collision." *Earth and Planetary Science Letters* 481: 154–61. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.10.007>.
- Suchodoletz, Hans von, Andreas Gärtner, Silvan Hoth, Josefine Umlauf, Lasha Sukhishvili, and Dominik Faust. 2016. "Late Pleistocene River Migrations in Response to Thrust Belt Advance and Sediment-Flux Steering - The Kura River (Southern Caucasus)." *Geomorphology* 266: 53–65. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.04.026>.
- Suchodoletz, Hans von, Martin Menz, Peter Kühn, Lasha Sukhishvili, and Dominik Faust. 2015. "Fluvial Sediments of the Algeti River in Southeastern Georgia - An Archive of Late Quaternary Landscape Activity and Stability in the Transcaucasian Region." *Catena* 130: 95–107. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.06.019>.
- Suchodoletz, Hans von, Christoph Zielhofer, Silvan Hoth, Josefine Umlauf, Birgit Schneider, Christian Zeeden, Lasha Sukhishvili, and Dominik Faust. 2018. "North Atlantic Influence on Holocene Flooding in the Southern Greater Caucasus." *Holocene* 28 (4): 609–20. <https://doi.org/10.1177/0959683617735584>.
- Sukhishvili, Lasha, Adam M. Forte, Giorgi Merebashvili, Joel Leonard, Keli X. Whipple, Zurab Javakhishvili, Arjun Heimsath, and Tea Godoladze. 2020. "Active Deformation and Plio-Pleistocene Fluvial Reorganization of the Western Kura Fold-Thrust Belt, Georgia: Implications for the Evolution of the Greater Caucasus Mountains." *Geological Magazine*, no. 1988. <https://doi.org/10.1017/S0016756820000709>.
- Tan, O, and T Taymaz. 2006. "Active Tectonics of the Caucasus: Earthquake Source Mechanisms and Rupture Histories Obtained from Inversion of Teleseismic Body Waveforms." *Postcollisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean Region and Asia* 409 (25): 531–578. [https://doi.org/10.1130/2006.2409\(25\)](https://doi.org/10.1130/2006.2409(25)).
- Vincent, Stephen J., Mark L. Somin, Andrew Carter, Giovanni Vezzoli, Matthew Fox, and Benoit Vautravers. 2020. "Testing Models of Cenozoic Exhumation in the Western Greater Caucasus." *Tectonics* 39 (2). <https://doi.org/10.1029/2018TC005451>.

- Wagner, Günther A. 1998. "Age Determination of Young Rocks and Artifacts." <https://doi.org/10.1007/978-3-662-03676-1>.
- Whipple, Kévin X. 2004. "Bedrock Rivers and the Geomorphology of Active Orogens." *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 32 (1): 151–85. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.32.101802.120356>.
- Whittaker, Alexander C. 2012. "How Do Landscapes Record Tectonics and Climate?" *Lithosphere* 4 (2): 160–64. <https://doi.org/10.1130/RF.L003.1>.
- Whittaker, Alexander C., and Sarah J. Boulton. 2012. "Tectonic and Climatic Controls on Knickpoint Retreat Rates and Landscape Response Times." *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 117 (2): 1–19. <https://doi.org/10.1029/2011JF002157>.
- Wobus, C., K. X. Whipple, E. Kirby, N. Snyder, J. Johnson, K. Spyropolou, B. Crosby, and D. Sheehan. 2006. "Tectonics from Topography: Procedures, Promise, and Pitfalls." *Geological Society of America Special Paper* 398 (04): 55–74. [https://doi.org/10.1130/2006.2398\(04\)](https://doi.org/10.1130/2006.2398(04)).
- Wolf, Daniel, Andrea Seim, Fernando Diaz del Olmo, and Dominik Faust. 2013. "Late Quaternary Fluvial Dynamics of the Jarama River in Central Spain." *Quaternary International* 302: 20–41. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.02.012>.
- Woodward, J. C., J. Lewin, and M. G. Macklin. 1995. "Glaciation, River Behaviour and Palaeolithic Settlement in Upland Northwest Greece." *Mediterranean Quaternary River Environments*.
- Zielhofer, Christoph, and Dominik Faust. 2008. "Mid- and Late Holocene Fluvial Chronology of Tunisia." *Quaternary Science Reviews* 27 (5–6): 580–88. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.11.019>.