

კლიმატის გლობალური ცვლილების გავლენის მოდელირება  
ცენტრალური კავკასიონის ალპურ მცენარეთა მრავალფეროვნებაზე

ხათუნა გიგაური

*სადისერტაციო ნაშრომი წარდგენილია ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის  
საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებისა და საინჟინრო ფაკულტეტზე სიცოცხლის  
შემსწავლელ მეცნიერებათა დოქტორის აკადემიური ხარისხის მინიჭების  
მოთხოვნების შესაბამისად*

სიცოცხლის შემსწავლელ მეცნიერებათა სადოქტორო პროგრამა

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფ., ბიოლ. მეცნ. დოქტ. მაია ახალკაცი

თანახელმძღვანელი: ემერიტუს პროფ. გია ნახუცრიშვილი

ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტი

თბილისი 2016

ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის

საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებისა და საინჟინრო

ფაკულტეტის დეკანს

ბატონ დავით თარხნიშვილს,

ამავე ფაკულტეტის დოქტორანტის

ხათუნა გიგაურის

### განაცხადი

როგორც წარდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის „კლიმატის გლობალური ცვლილების გავლენის მოდელირება ცენტრალური კავკასიონის ალპურ მცენარეთა მრავალფეროვნებაზე“ 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.

ხათუნა გიგაური

15.10.2016

## აბსტრაქტი

კლიმატის გლობალური ცვლილება და მისი შესაძლო შედეგები თანამედროვეობის უმთავრესი ეკოლოგიური პრობლემაა. ის დედამიწის ყველა ეკოსისტემაზე მოახდენს მეტ-ნაკლებ გავლენას, მაგრამ განსაკუთრებით მკვეთრი და სწრაფი ცვლილებები მოსალოდნელია მაღალმთაში, როგორც ერთ-ერთ ყველაზე სენსიტიურ ბიომში. სწორედ ამიტომ მაღალმთის მცენარეულობა მიჩნეულია კლიმატის ცვლილების ყველაზე თვალსაჩინო ბიოინდიკატორად. მცენარეულობის შესაძლო ტრანსფორმაციის მოდელირებისთვის 2001 წელს საფუძველი ჩაეყარა ევროკავშირის მიერ მხარდაჭერილ პროექტს (GLORIA), რომელშიც საქართველო 2001 წლიდანვე ჩართული. კვლევის კონცეფცია დაკავშირებულია კლიმატის გლობალური ცვლილების შედეგად მცენარეულობის მოსალოდნელ ტრანსფორმაციასთან ჰიფსომეტრული და ექსპოზიციური გრადიენტების მიხედვით.

კვლევის მიზანია კლიმატის გლობალური ცვლილების (დათბობის) ფონზე ყაზბეგის რეგიონის (ცენტრალური კავკასიონი) მაღალმთის მცენარეულობის მრავალფეროვნების ცვლილების ტენდენციების დადგენა და შესაძლო რისკების შეფასება.

ცენტრალურ კავკასიონზე (ჯვრის უღ. მიდამოები) კვლევის ადგილები და სამონიტორინგო ნაკვეთები შერჩეულია საერთაშორისო ქსელში შემავალი ყველა რეგიონისთვის სტანდარტული მეთოდის შესაბამისად. ჩვენი კვლევა მოიცავს მონიტორინგის პირველი ორი ციკლის (2001 და 2008 წწ) შედეგად კვლევის ოთხი მწვერვალის, სხვადასხვა მცენარეულ სარტყელში (ტყის ზედა საზღვრის ეკოტონი - CP1, ქვედა ალპური - CP2, ზედა ალპური - CP3 და სუბნივალური/ნივალური - CP4) განლაგებულ 64 პერმანენტული ნაკვეთიდან ( $1\text{მ}^2$ ) მიღებული ფაქტობრივი მასალის ანალიზს.

მონიტორინგის პერიოდში ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურა არ გაიზარდა, თუმცა გარკვეულ ფლუქტუაციას ადგილი ჰქონდა 2002–2003 წწ, როცა ის

განსაკუთრებით მაღალი იყო. შემდეგ მან ისევ დაიკლო და სტაბილური გახდა. ივნისის მინიმალურმა ტემპერატურამ და ზრდის სეზონის ხანგრძლივობამ (GDD) დაკვირვების პერიოდში ასევე არ გამოავლინა ზრდის ტენდენცია. თერმული ინდიკატორი (S) ზღ. დ-დან სიმაღლისა და ექსპოზიციის მიხედვით სარწმუნოდ ვარირებდა, თუმცა არ გამოვლინდა მისი კორელაცია ჰიფსომეტრულ სიმაღლესთან. თერმოფილიზაციის ინდექსი (D) უარყოფითი იყო და ნაკლებად სარწმუნო, რაც სამონიტორინგო ნაკვეთების თერმოფილიზაციის ზოგადად დაბალ ხარისხზე მეტყველებს.

მონიტორინგის პერიოდში შეიცვალა სახეობათა დაფარულობა და სიხშირე, გაჩნდა თხუთმეტი „ახალი სახეობა“, „გაქრა“ ოთხი, რვა სახეობის მიერ დაკავებულმა ფართობმა მოიმატა, ხოლო სამისამ – დაიკლო. ამასთანვე, თოთხმეტი „ახალი სახეობის“ რანგი იყო ტყის ზედა საზღვრისა და ალპური, რომლებიც უპირატესობას სამხრეთ ფერდობს ანიჭებენ. აღმოჩნდა, რომ მარცლოვნები და ისლები უფრო სტაბილურები არიან ლოკალური კლიმატური ცვლილებების მიმართ. მონიტორინგის პერიოდში თითქმის არ შეცვლილა ინდიკატორი სახეობების სიხშირისა და სიმრავლის მაჩვენებლები, 2008 წელს მხოლოდ მთის-ტყის ზედა საზღვრის (AR 5) მცენარეების სიხშირე გაიზარდა სარწმუნოდ. დადგინდა, რომ ენდემური და ცივი ადგილების სახეობები არ იმყოფებიან საფრთხის ქვეშ და სახეობათა მიგრაციას ადგილი არ აქვს.

ამრიგად, კვლევის რეგიონში ადგილი აქვს ფლორისტული კომპოზიციის გარკვეულ ცვლილებებს, რომლებიც უმთავრესად არ მოიცავენ ზედა ალპურ და სუბნივალურ/ნივალურ სენსიტურ ცივ ჰაბიტატებს, სადაც იშვიათ და ენდემურ სახეობათა წილი დიდია. კვლევის ამ ეტაპზე ყველა ეს ცვლილება, იმის გათვალისწინებითაც, რომ ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურა არ გაზრდილა, განხილულ უნდა იქნეს როგორც გარკვეული ლოკალური ფლუქტუაციები და არა რაიმე სუქცესიური ხასიათის მოვლენა.

ძირითადი სამიზნე სიტყვები: კლიმატის გლობალური ცვლილება; GLORIA; ნიადაგის საშუალო ტემპერატურა; თერმული ინდიკატორი; თერმოფილიზაციის ინდექსი; მცენარეულობის ტრანსფორმაცია.

## Abstract

The global climate change will affect all the ecosystems around the world, but the most rapid and sharp changes are expected in high mountain areas with one of the most sensitive biomes. Hence alpine plants are considered the best bio-indicators of the climate change. Many observations have shown that climate warming has already led to changes in habitats, distribution patterns and viability of certain plants. The long term monitoring program GLORIA supported by the European Union was established for monitoring of the alpine plant cover transformation. Georgia was involved in the network in 2001.

The study sites and permanent plots in the Central Greater Caucasus were chosen according to the GLORIA protocol (which is a standard for all target regions in the GLORIA network). The summits were monitored in 2001 and 2008. Four summits were chosen along the vertical vegetation gradient (treeline ecotone – CP1; lower alpine zone – CP2; upper alpine zone – CP3; subnival/ nival – CP4). Our research introduces the analysis of the plant cover, abundance and distribution both in 64 permanent plots and summits. The average annual soil temperature did not increase during the monitoring period, however, there were some fluctuations in 2002-2003.

The daily minimum T in June and GDD (growing degree day) changed in different years, but there was no significantly increasing trend. The thermic indicator (S) decreased on all summits during monitoring period. This indicates the low degree of the thermophilization status of the monitored plots. The species cover and richness changed during monitoring period, 15 “new species” were recorded, only four species were not found. The study has shown that grasses and sedges tend to get more benefit from local climate change. Their cover and abundance did not change as much as the indicator value of the indicator species. In 2008 only the frequency of montane-treeline species (AR5) increased significantly. During

monitoring period the abundance rank of dominant species also did not change. It was obvious that the endemics and cold-adapted species are not severely endangered and species immigration is not the case.

Thus, the local changes of floristic composition took place in the research region. These changes don't cover the upper alpine and subnival/nival sensitive cold habitats, where the share of endemic species is high. If we take into consideration that the average soil temperature did not change, the observed changes mostly reflect a filling process rather than succession in the particular stage of the research.

**Key Words:** Climate global change, GLORIA, average soil temperature, thermic indicator, thermophilization index, transformation of vegetation.

## მადლობა

სადოქტორო კვლევის პროექტის განხორციელებისა და თეზისის მომზადების პროცესში დახმარებისთვის მადლობას მოვახსენებ:

ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების და საინჟინრო ფაკულტეტის პროფესორს.

განსაკუთრებულად ჩემს სამეცნიერო ხელძღვანელს პროფესორ მაია ახალკაცს, კვლევის პროცესისთვის სწორი მიმართულების მიცემისა და ყველა რეკომენდაციისთვის.

პროფესორს ემერეტუს გია ნახუცრიშვილს, გაწეული დახმარებისა და სასარგებლო რჩევებისთვის.

GLORIA-ს პროექტში ჩართული ყველა პროფესორს, დოქტორანტს და სტუდენტს გაწეული დახმარებისთვის.

კვლევა შესრულდა GLORIA-EUROPE პროექტის ფარგლებში.



# სარჩევი

|                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| სარჩევი.....                                                                                   | vii       |
| ცხრილების ჩამონათვალი.....                                                                     | ix        |
| გრაფიკების ჩამონათვალი.....                                                                    | x         |
| სურათების ჩამონათვალი.....                                                                     | xiii      |
| აბრევიატურა.....                                                                               | xiii      |
| შესავალი.....                                                                                  | 1         |
| <b>თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა.....</b>                                                      | <b>5</b>  |
| 1.1 კლიმატის გლობალური ცვლილება და მისი ეკოლოგიური პერსპექტივები .....                         | 5         |
| 1.2 მაღალმთა როგორც კლიმატის გლობალური ცვლილების ინდიკატორი.....                               | 10        |
| 1.3 GLORIA-ს პროექტის ისტორია .....                                                            | 17        |
| 1.4 კლიმატის ცვლილება კავკასიაში.....                                                          | 20        |
| <b>თავი 2. კვლევის რეგიონის მოკლე დახასიათება.....</b>                                         | <b>22</b> |
| 2.1 მდებარეობა .....                                                                           | 22        |
| 2.2 ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობები.....                                                          | 22        |
| 2.3 ნიადაგები.....                                                                             | 23        |
| 2.4 კლიმატი.....                                                                               | 23        |
| 2.5 რეგიონი მცენარეული საფარის მოკლე მიმოხილვა.....                                            | 25        |
| <b>თავი 3. კვლევის მეთოდები.....</b>                                                           | <b>31</b> |
| 3.1 კვლევის ადგილის შერჩევა და დახასიათება.....                                                | 31        |
| 3.2 მცენარეთა ნომენკლატურა, იდენტიფიკაცია და სასიცოცხლო ფორმები.....                           | 37        |
| 3.3 მცენარეთა პროექციული დაფარულობა და ფიტოსიციოლოგიური აღწერები.....                          | 37        |
| 3.4 მცენარეთა მრავალფეროვნება, ევენესი და ჟაკარდის ინდექსი.....                                | 38        |
| 3.5 ტემპერატურული ლოგერების დაყენება.....                                                      | 39        |
| 3.6 მცენარეთა რანგი, მცენარეულობის თერმული ინდიკატორი (S) და თერმოფილიზაციის ინდექსი (D) ..... | 41        |
| 3.7 სტატისტიკური ანალიზი.....                                                                  | 42        |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.8 მონაცემთა ბაზა.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 42         |
| <b>თავი 4. შედეგები.....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>44</b>  |
| 4.1 ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურისა და GDD-ს ცვლილება.....                                                                                                                                                                                                                                                                       | 44         |
| 4.2 სამონიტორინგო ნაკვეთების ფლორისტული შედგენილობა, სახეობათა რანგი და სასიცოცხლო ფორმები.....                                                                                                                                                                                                                                        | 56         |
| 4.3 სახეობათა სიმრავლე, მრავალფეროვნება და დაფარულობა.....                                                                                                                                                                                                                                                                             | 59         |
| 4.3.1 სახეობათა სიმდიდრე.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 59         |
| 4.3.2 სახეობრივი მრავალფეროვნების ინდექსი.....                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 63         |
| 4.3.3 ფლორისტული მსგავსების ინდექსი.....                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 65         |
| 4.3.4 სახეობათა დაფარულობის ცვლილება და დომინანტი სახეობები.....                                                                                                                                                                                                                                                                       | 66         |
| 4.4 მცენარეულობის თერმული ინდიკატორი (S) და თერმოფილიზაციის ინდექსი (D).....                                                                                                                                                                                                                                                           | 72         |
| 4.5 ინდიკატორი სახეობები.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 76         |
| <b>დისკუსია.....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>82</b>  |
| <b>დასკვნა და რეკომენდაციები.....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>92</b>  |
| <b>ბიბლიოგრაფია.....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>94</b>  |
| <b>დანართები.....</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>114</b> |
| დანართი 1. გლორიას სამონიტორინგო მწვერვალებზე დაფიქსირებული სახეობების სრული სია. გამუქებული სახეობები კავკასიის ენდემებია. (AL-სახეობის გავრცელების ქვედა ზღვარი, AC-სახეობის გავრცელების ცენტრი, AU-სახეობის გავრცელების ზედა ზღვარი). სახეობათა რანგი: m-მთის, tl-ტყის ზედა საზღვრის, al-ალპური, ni-ნივალური, id-განუსაზღვრელი..... | 114        |
| დანართი 2. სახეობათა განაწილება კლასტერებზე 2001 წელს. (მცენარეთა სახელები მოცემულია შემოკლებულად Elevatio-ჰიფსომეტრული სიმაღლე, Presence-არის სახეობა, Absence-არ არის სახეობა).....                                                                                                                                                  | 118        |

## ცხრილების ჩამონათვალი

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ცხრილი 1. ყაზბეგის რეგიონის კლიმატური პირობების დახასიათება.....                                                                                                                                                                                                                                        | 24 |
| ცხრილი 2. კვლევის ადგილების დახასიათება.....                                                                                                                                                                                                                                                            | 32 |
| ცხრილი 3. ბრაუნ-ბლანკეს დაფარულობის კლასის ტრანსფორმაცია პროცენტებში (%).....                                                                                                                                                                                                                           | 38 |
| ცხრილი 4. ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურის ცვლილების სტატისტიკური ცხრილი.....                                                                                                                                                                                                                       | 45 |
| ცხრილი 5. ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურის ცვლილება სხვადასხვა ჰიფსომეტრულ სიმაღლეზე.....                                                                                                                                                                                                           | 48 |
| ცხრილი 6. ANOVA-ს ტესტის შედეგები. მწვერვალებს შორის განსხვავება ეკოლოგიური მახასიათებლების (საშუალო წლიური ტემპერატურის (საშუალო ტ), ივნისის მინიმალური ტემპერატურის (ივნ.მინ.ტ) და წლიური მინიმალური ტემპერატურის (მინიმ.ტ.)) მიხედვით 2002 (ა) და 2008 (ბ) წელს. (sig- სარწმუნოების კოეფიციენტი..... | 50 |
| ცხრილი 7. . ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურის (°C) ცვლილება 2002-2008 წლებში ჩრდილოეთ და სამხრეთ ფერდობებზე.....                                                                                                                                                                                     | 51 |
| ცხრილი 8. GDD-ის ინდექსის ცვლილება ჩრდილოეთ და სამხრეთ ფერდობებზე 2002-2007 წლებში.....                                                                                                                                                                                                                 | 53 |
| ცხრილი 9. 2002-2008 წლებში GDD ცვლილების სტატისტიკური ცხრილი.....                                                                                                                                                                                                                                       | 54 |
| ცხრილი 10. მცენარეთა რანგის სიხშირის ცვლილება 2001-2008 წლებში ცენტრალურ კავკასიონზე ( $P<0.05$ , ↑-გაზრდა, ↓ - შემცირება, z-სტანდარტული გადახრის ინდექსი).....                                                                                                                                         | 58 |
| ცხრილი 11. სახეობათა სიმდიდრე ოთხ მწვერვალზე, 1მ <sup>2</sup> ფართობებზე (საშუალო და სტანდარტული გადახრა). „ახალი“ და „დაკარგული“ სახეობების რაოდენობა.....                                                                                                                                             | 59 |
| ცხრილი 12. „ახალი“ და „დაკარგული“ სახეობები ოთხ სამონიტორინგო მწვერვალზე.....                                                                                                                                                                                                                           | 60 |

|                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ცხრილი 13. პირსონის კორელაცია (Pearson's correlation) სახეობათა სიმდიდრეს, ნიადაგის საშუალო ტემპერატურას, GDD-სა და ჰიფსომეტრულ სიმაღლეს შორის.....                                                                                                  | 62 |
| ცხრილი 14. სახეობათა მიერ დაკავებული ფართობების რაოდენობის ცვლილება 2001-2008 წლებში. ( <i>mo-tl-al</i> - მთის-ტყის ზედა საზღვრის-ალპური, <i>tl-al</i> - ტყის ზედა საზღვრის-ალპური, <i>al-sn</i> - ალპურ-სუბნევალური, <i>sn</i> - სუბნევალური.)..... | 63 |
| ცხრილი 15. ოთხი სამონიტორინგო მწვერვალის ფლორისტული მსგავსება გამოხატული ჟაკარდის ინდექსით.....                                                                                                                                                      | 66 |
| ცხრილი 16. სახეობათა დაფარულობის სარწმუნო ცვლილება 2001-2008 წლებში.....                                                                                                                                                                             | 67 |
| ცხრილი 17. დომინანტი სახეობების სიმრავლისა და სიხშირის რანგი 2001 და 2008 წლებში (PCORD სტატისტიკური პროგრამის სახეობათა დომინანტობის ტესტი).....                                                                                                    | 70 |
| ცხრილი 18. სიმაღლის გრადიენტის მიხედვით თერმოფილიზაციის ინდიკატორის ცვლილების სტატისტიკური ცხრილი.....                                                                                                                                               | 74 |
| ცხრილი 19. კორელაცია S ინდექსსა და სხვა ეკოლოგიურ მახასიათებლებს შორის .....                                                                                                                                                                         | 75 |
| ცხრილი 20. ოთხ მწვერვალის (CP1, CP2, CP3, CP4) ოთხ ექსპოზიციაზე (აღ. ჩრდ. სამხ. დას.) სახეობების ფარდობითი რაოდენობა (%) და ფარდობითი სიხშირე (%).....                                                                                               | 78 |

## გრაფიკების ჩამონათვალი

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| გრაფიკი 1. ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურის (C°) ცვლილება 2002-2008 წლებში ..... | 44 |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| გრაფიკი 2. ნიადაგის საშუალო წლიური მინიმალური ტემპერატურის ცვლილება 2002-2008 წლებში CP1-CP4 მწვერვალებზე.....                                                                                                                                                                      | 46 |
| გრაფიკი 3. ზამთრის ტემპერატურის ცვლილება 2002-2008 წლებში CP1 მწვერვალის პერმანენტულ ნაკვეთებზე.....                                                                                                                                                                                | 47 |
| გრაფიკი 4. ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურის $T(^{\circ})$ ცვლილება 2002 (1) და 2008 (2) წლებში ოთხ ჰიფსომეტრულ სიმაღლეზე (Elevatio-ჰიფსომეტრული სიმაღლე; r-კორელაციის კოეფიციენტი).....                                                                                         | 48 |
| გრაფიკი 5. ივნისის საშუალო დღიური ტემპერატურის ცვლილება 2002-2008 წლებში.....                                                                                                                                                                                                       | 49 |
| გრაფიკი 6. GDD ინდექსის ცვლილება ჰიფსომეტრული სიმაღლის მიხედვით. (1-CP1; 2-CP2; 3-CP3; 4-CP4).....                                                                                                                                                                                  | 52 |
| გრაფიკი 7. GDD ინდექსის ცვლილება 2002 და 2007 წელს ჰიფსომეტრული სიმაღლის მიხედვით. (Elevatio-ჰიფსომეტრული სიმაღლე; r-კორელაციის კოეფიციენტი).....                                                                                                                                   | 52 |
| გრაფიკი 8. GDD ინდექსის ცვლილება 2002-2007 წლებში.....                                                                                                                                                                                                                              | 54 |
| გრაფიკი 9. სამონიტორინგო ფართობებზე სახეობათა სხვადასხვა ფუნქციური ჯგუფის პროცენტული განაწილება.....                                                                                                                                                                                | 55 |
| გრაფიკი 10. აღწერილი სახეობების განაწილება ოჯახების მიხედვით.....                                                                                                                                                                                                                   | 56 |
| გრაფიკი 11. ენდემური სახეობების განაწილება ოჯახების მიხედვით.....                                                                                                                                                                                                                   | 56 |
| გრაფიკი 12. სახეობათა სასიცოცხლო ფორმების პროცენტული განაწილება CP1-CP4 მწვერვალზე. (p-ზაფხულმწვანე ფანეროფიტები, n-ზაფხულმწვანე ნანოფანეროფიტები, j-ზამთარმწვანე ნანეროფიტები, z-მერქიანი ხამეფიტები, c-ბალახოვანი ხამეფიტები, h-ჰემიკრიპტოფიტები, g-გეოფიტები, t-ტეროფიტები)..... | 57 |
| გრაფიკი 13. სხვადასხვა რანგის მცენარეთა პროცენტული განაწილება(1-ნივალური, 2-სუბნივალური, 3-ალპური, 4-ტყის ზედა საზღვრიდან-ალპურემდე, 5-ტყის ზედა საზღვრის, 6- მთის-ტყის ზედა საზღვრამდე).....                                                                                       | 58 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| გრაფიკი 14. ახალი სახეობების პროცენტული განაწილება სამ მწვერვალზე (CP1, CP2, CP4) ექსპოზიციის მიხედვით (North-ჩრდილოეთი, East-აღმოსავლეთი, South-სამხრეთი, West-დასავლეთი).....                                                                                                                                                               | 61 |
| გრაფიკი 15. შენონ-ვინერის ინდექსის ცვლილება 2001 (ლურჯი ხაზი) და 2008 (წითელი ხაზი) წლებში CP1-CP4 მწვერვალზე.....                                                                                                                                                                                                                            | 64 |
| გრაფიკი 16. შენონ-ვინერის ინდექსის ცვლილება ოთხ მწვერვალზე 2001 და 2008 წლებში (1-CP1,2-CP2,3-CP3,4-CP4).....                                                                                                                                                                                                                                 | 65 |
| გრაფიკი 17. დაფარულობის მოხედვით დომინანტი სახეობები 2001 (ა) და 2008 (ბ) წელს.....                                                                                                                                                                                                                                                           | 69 |
| გრაფიკი 18. კლასტერების საერთო დაფარულობის ცვლილება 2001-2008 წელს CP1-CP4 მწვერვალზე.( ა)-CP1, ბ)-CP2,გ)-CP3, დ)-CP4.....                                                                                                                                                                                                                    | 72 |
| გრაფიკი 19. S ინდექსის ცვლილება 2001-2008 წლებში ოთხ მწვერვალზე (CP1,CP1,CP3,CP4) .....                                                                                                                                                                                                                                                       | 73 |
| გრაფიკი 20. . მცენარეულობის თერმული ინდიკატორის (S) ცვლილება ოთხ მწვერვალზე (CP1-CP4).....                                                                                                                                                                                                                                                    | 74 |
| გრაფიკი 21. მცენარეულობის თერმული ინდიკატორის ინდექსის ცვლილება 2001 და 2008 წლებში.....                                                                                                                                                                                                                                                      | 75 |
| გრაფიკი 22. კანონოკურ (ანუ სტანდარტულ) კომპონენტთა ანალიზი (CCA). მცენარეულობის თერმოფილური ინდიკატორისა (S) და სხვა ეკოლოგიური მახასიათებლების დამოკიდებულების გრაფიკები. (Thermic vegetation indicator- მცენარეულობის თერმული ინდიკატორი. June mean of daily minimum - ივნისის მინიმალური ტემპერატურა, GDD-ზრდის სეზონის ხანგრძლივობა)..... | 76 |

## სურათების ჩამონათვალი

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| სურათი 1. კავკასია, დიდი კავკასიონი, ცენტრალური კავკასიონი, ყაზბეგის რეგიონი (პუნქტირით), გუდაურის მიდამოები (უწყვეტი ხაზით)..... | 23 |
| სურათი 2. ნაკვეთი CP1 მწვერვალზე.....                                                                                             | 33 |
| სურათი 3. CP1 მწვერვალი.....                                                                                                      | 33 |
| სურათი 4. CP2 მწვერვალი.....                                                                                                      | 33 |
| სურათი 5. ნაკვეთი CP2 მწვერვალზე.....                                                                                             | 33 |
| სურათი 6. CP3 მწვერვალი.....                                                                                                      | 34 |
| სურათი 7. ნაკვეთი CP3 მწვერვალზე.....                                                                                             | 34 |
| სურათი 8. CP4 მწვერვალი.....                                                                                                      | 34 |
| სურათი 9. ნაკვეთი CP4 მწვერვალზე.....                                                                                             | 34 |
| სურათი 10. მწვერვალებისა (a) და სამონიტორინგო ნაკვეთების (b) სტანდარტული სქემა.....                                               | 36 |
| სურათი 11. 3x3 მ-იანი კლასტერი ველზე (მარჯვნივ სქემა).....                                                                        | 36 |
| სურათები 12 და 13. ტემპერატურის ავტომატური მინილოგერები.....                                                                      | 40 |

## აბრევიატურა

მაქ. - მონაცემის მაქსიმალური მნიშვნელობა.

ინდ. მაჩ - ინდიკატორული მაჩვენებელი

CCA - კანონიკურ კომპონენტთა ანალიზი (Canonical Correspondence Analysis)

CP1, CP2, CP3, CP4 - პერმანენტული სამონიტორინგო მწვერვალები 2240 მ-დან 3024 მ-მდე.

CV% - ვარიაციის კოეფიციენტი (Variation coefficient)

D - თერმოფილიზაციის ინდექსი (Thermophilization indicator)

df - თავისუფლების ხარისხი (Degree of freedom)

GDD - ზრდის სეზონის ხანგრძლივობა (Growing degree day)

GLORIA- EUROPE – Global Observation Research Initiative in Alpine Environments

H - შენონ-ვინერის ინდექსი

J - ევენესი

N - ჩრდილოეთი, S - სამხრეთი, E - აღმოსავლეთი, W - დასავლეთი

P - სარწმუნოების კოეფიციენტი

r - პირსონის კორელაციის კოეფიციენტი (Pearson Correlation)

R<sup>2</sup> - დეტერმინაციის კოეფიციენტი

S - თერმული ინდიკატორი (Thermic indicator)

SD - სტანდარტული გადახრა (Standart Deviation)

S<sub>J</sub>- ჟაკარდის ინდექსი

VI - სახეობის ინდიკატორული მაჩვენებელი

z - სტანდარტული გადახრის ინდექსი

## შესავალი

კლიმატის გლობალური ცვლილება (დათბობა) და მისი შესაძლო შედეგები თანამედროვეობის უმთავრესი ეკოლოგიური პრობლემაა (Körner, 1995, 2002, 2009, 2014; Messerli, Ives, 1997; Callaway, 1998; Sala et al., 2000; Grabherr et al., 2001, 2009; Ozenda, Borel, 2003; Pauli et al., 2004; Körner et al., 2005; Larcher, 2009, 2010, 2012).

21-ე საუკუნეში მაღალმთის ბიოტა განსაკუთრებული ინტერესის საგანი გახდა. 2002 წელი გამოცხადდა მაღალმთის საერთაშორისო წლად. დედამიწის მოსახლეობის თითქმის ნახევარი დამოკიდებულია მთებში წყლის რესურსებზე, ამიტომ მაღალმთის ბიოტის მთლიანობა და ფუნქციური მნიშვნელობა გადამწყვეტ როლს თამაშობს კაცობრიობის კეთილდღეობაში (კიორნერი, 2008).

მაღალმთის ეკოლოგიური პირობების დიდი მრავალფეროვნება განაპირობებს ფლორისა და მცენარეულობის მრავალფეროვნებასაც. აქ მცენარეთა ზრდა-განვითარება ობიექტურად არახელსაყრელ გარემოში მიმდინარეობს და მცირე ფართობზეც კი რადიკალურად განსხვავებული გარემო პირობებია შექმნილი (ლარხერი, 2006; კიორნერი, 2008). მცენარეთა მრავალფეროვნების მიხედვით მაღალმთა “ ცხელ წერტილადაა” აღიარებული, რადგან აქ დასახლებულია მრავალი იშვიათი, რელიქტური, ენდემური და გადაშენების საფრთხეში მყოფი სახეობა (Grabherr et al., 2000; Pauli et al., 1999; Körner, 2004a; Theurillat, Guisan, 2002; Barthlott et al., 2005, 2007; Mutke, Barthlott, 2005). აქ სახეობრივ მრავალფეროვნებასთან ერთად აღინიშნება მცენარეების შიდასახეობრივი გენეტიკური მრავალფეროვნებაც (Packer, 1974; Gugerli et al., 1999). გარდა იმისა, რომ ალპურ მცენარეთა მრავალფეროვნება მნიშვნელოვანი ბიოლოგიური საგანძურია, არანაკლებ მნიშვნელოვანია მისი როლი ეგზოგენური პროცესების (ზვავი, მეწყერი, ღვარცოფი, ნიადაგის ეროზია და სხვ.) შერბილებაში და მტკნარი წყლის ბალანსის რეგულაციაში (კიორნერი, 2008).

ბოლო დროს მიმდინარე კლიმატური ცვლილებების (მეტი ნალექი, თოვლის საფარის სიმძლავრისა და ხანგრძლივობის შემცირება, მისი განაწილების ცვლილება) მიმართ მაღალმთა ერთ-ერთ ყველაზე სენსიტიურად არის მიჩნეული (Guisan, Theurillat, 2001; Ozenda, Borel, 2003). თუკი დღეს არსებული პროგნოზების, ანუ

სხვადასხვა მოდელის თანახმად, 2100 წლისთვის ტემპერატურის მატება 1,5°C-დან 5,6°C-მდე (IPCC, 2001, 2007; Houghton et al., 2001; McCarthy et al., 2001) ნაწილობრივ გამართლდა, მაშინ ეს გამოიწვევს მაღალმთის მცენარეთა მრავალფეროვნებაში კარდინალურ ცვლილებებს (Sala et al., 2000; Bakken et al., 2002; Dullinger et al., 2008, Pauli et al. 2012). შეიცვლება გარემოს მალიმიტირებელი ეფექტი (ე.წ. კლიმატური ფილტრი), რაც გამოიწვევს დაბალი სიმაღლეებიდან მაღალმთაში სახეობათა მიგრაციას (კიორნერი, 2008).

მრავალმა დაკვირვებამ, მაგალითად, ალპებში (Gottfried et al., 1994; Grabherr et al., 1994, 2001; Körner, 1998; Walter et al., 2005a,b და სხვ.) სკანდინავიის მთებში (Klanderud, Birks, 2003), კლდოვან მთებში (Callaway, 1998) და დიდ კავკასიონზე (Nathutsrishvili 2001, 2003, Nathutsrishvili et al., 2004a,b, 2005, 2009) აჩვენა, რომ ზოგიერთი მცენარის არეალი, გავრცელების თავისებურებანი და სიცოცხლისუნარიანობა იცვლება (ან შეიცვლება) კლიმატის დათბობის შედეგად. ბევრად უფრო მძაფრია ადამიანის უშუალო ზემოქმედება მაღალმთის მცენარეთა მრავალფეროვნებაზე. მსოფლიო მასშტაბით ტყის ზედა საზღვართან არსებული მაღალმთის სარტყლის და საძოვრების დეგრადაცია შემაშფოთებელ მასშტაბებს აღწევს. ალპური მცენარეულობისთვის განსაკუთრებით სახიფათოა, როცა ეს ორი ფაქტორი - ანთროპოგენური და კლიმატის გლობალური ცვლილება - ერთმანეთს თანხვედბა.

ამ ცვლილებებზე დასაკვირვებლად და მაღალმთის მცენარეულობის შესაძლო ტრანსფორმაციის მოდელირებისთვის აუცილებელია მცენარეთა მრავალფეროვნებაზე ხანგრძლივი მონიტორინგის დაწყება (Grabherr et al., 2001; Pauli et al., 2004; Kikvidze et al., 2005; Dullinger et al., 2007; Erschbamer et al., 2010).

ასეთი კვლევების აქტუალობა ასახულია ევროკავშირის პროექტებში GLORIA-EUROPE (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments) და GLORIA-WORLDWIDE. ეს პროექტები ითვალისწინებენ მუდმივი სამონიტორინგო ქსელის შექმნას მთელი დედამიწის მასშტაბით და ალპურ მცენარეთა მრავალფეროვნებაზე ხანგრძლივ პერსპექტივაში (50 წელზე მეტი) დაკვირვებას (3-5 წლიანი ინტერვალებით) (Grabherr et al., 2001; Pauli et al., 2004).

კვლევის კონცეფცია დაკავშირებულია კლიმატის გლობალური ცვლილების შედეგად მაღალმთაში მცენარეულობის მოსალოდნელ ტრანსფორმაციასთან ჰიფსომეტრული და ექსპოზიციური გრადიენტების მიხედვით (Grabherr et al., 2001; Pauli et al., 2004, 2012; Gottfried et al., 2012; Körner, 2014). ცნობილია, რომ მაღალმთის ეკოსისტემები ყველაზე სენსიტიურია კლიმატის ცვლილების მიმართ და ყველაზე კარგად ასახავს მის მოსალოდნელ შედეგებს როგორც ახლო, ისე საშუალო პერსპექტივაში (Körner, 2003, 2009, 2013; Grabherr et al., 2009; Larcher, 2012). კვლევა ჩატარდა საერთაშორისო სამონიტორინგო ქსელის (GLORIA-EUROPE და GLORIA-WORLDWIDE) ფარგლებში. ანალიზი განხორციელდა სივრცითი გრადიენტის (ჰორიზონტალური, ანუ გეოგრაფიული მხარეების და ჰიფსომეტრული) მიხედვით კლიმატის ცვლილებაზე მაღალმთის სახეობათა საპასუხო რეაქციების საფუძველზე. გამოყენებულ იქნა GLORIA-ს პროექტის ფარგლებში 2001-2008 წწ მოპოვებული ფაქტობრივი მასალა.

კვლევის მიზანია კლიმატის გლობალური ცვლილების (დათბობის) ფონზე ყაზბეგის რეგიონის (ცენტრალური კავკასიონი) მაღალმთის მცენარეულობის ტრანსფორმაციის ტენდენციების დადგენა.

გამომდინარე კვლევის მიზნიდან, დასახულ იქნა შემდეგი ამოცანები:

1. კვლევის რეგიონში პერმანენტული სამონიტორინგო ნაკვეთების ოთხ მთავარ ექსპოზიციაზე (N, E, S, W) 2001 და 2008 წწ რიზოსფეროს -10 სმ ჰორიზონტში ტემპერატურის ცვლილებების ანალიზი;
2. სამონიტორინგო ნაკვეთების ოთხ მთავარ ექსპოზიციაზე (N, E, S, W) და ჰიფსომეტრულ გრადიენტზე 2001 და 2008 წწ მოპოვებული ფაქტობრივი მასალის ფლორისტული ანალიზი;
3. ფაქტობრივი მასალის საფუძველზე მცენარეული საფარის სტანდარტული რაოდენობრივი მაჩვენებლების (მცენარეულობის და ცალკეულ სახეობათა პროექციული დაფარულობა, სახეობათა სიმდიდრე, მრავალფეროვნების ინდექსები – შენონ-ვინერი, ევენესი) და ფლორისტული მსგავსების მაჩვენებლების ანალიზი;

4. სხვადასხვა ექსპოზიციასა და აბსოლუტურ სიმაღლეზე მცენარეულ საფარში ენდემურ სახეობათა წილის დადგენა;
5. სხვადასხვა ექსპოზიციაზე და აბსოლუტურ სიმაღლეზე მცენარეულ საფარში ინდიკატორი სახეობების გამოვლენა;
6. ფაქტობრივი მასალის საფუძველზე ჰიფსომეტრული და ჰორიზონტალური გრადიენტის მიხედვით მცენარეულ მრავალფეროვნებაზე კლიმატის გლობალური ცვლილების გავლენის რისკების შეფასება.

## თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

### 1.1 კლიმატის გლობალური ცვლილება და მისი ეკოლოგიური პერსპექტივები

მე-18 საუკუნის შუა წლებიდან, ანუ „ინდუსტრიული რევოლუციის“ პერიოდის დასაწყისიდან, ატმოსფეროში შეინიშნება  $\text{CO}_2$ -ის კონცენტრაციის თანდათანობითი მატება. მე-20 საუკუნის შუახნიდან ეს პროცესი საგრძნობლად გაძლიერდა და ამჟამად წელიწადში საშუალოდ 1.3  $\mu\text{L/L}$  შეადგენს, რაც დაფიქსირებულია ანტარქტიდის კლიმატური სადგურისა და მაუნა ლოას (ჰავაის კუნძულები) ობსერვატორიის მიერ, სადაც სისტემატური დაკვირვებები 1958 წლიდან მიმდინარეობს (IGBP, 1990; Larcher, 1995, 2003). პრეინდუსტრიულ პერიოდთან შედარებით, ატმოსფეროში  $\text{CO}_2$ -ის კონცენტრაცია დღეს თითქმის 18%-ით მომატებულია (IPCC, 2007; Vautard et al., 2014). ანთროპოგენური ფაქტორის (მრეწველობა, სოფლის მეურნეობა, ომები, იარაღის გამოცდა, ტყის ჭრა და სხვ.) ინტენსიფიკაციის შედეგად ატმოსფეროში წელიწადში 6 მილიარდ ტონამდე  $\text{CO}_2$  გამოიყოფა. ამის პარალელურად ჰაერში მოიმატა მეთანის შემცველობამაც. აღსანიშნავია, რომ  $\text{CO}_2$ -ის კონცენტრაციის ბუნებრივი ცვლილება საკმაოდ ხანგრძლივი პროცესია. მაგალითად, თუკი დღესვე შეწყდება ატმოსფეროში  $\text{CO}_2$ -ის გამოყოფა, მისი კონცენტრაცია პრეინდუსტრიული პერიოდის დონეს ბუნებრივად მხოლოდ 100 წლის შემდეგ დაუბრუნდება.

ცნობილია, რომ  $\text{CO}_2$  წყლის ორთქლთან, მეთანთან ( $\text{CH}_4$ ), ოზონთან ( $\text{O}_3$ ) და აზოტის ორჟანგთან ( $\text{N}_2\text{O}$ )(გაზებთან, რომელთაც მოლეკულაში ერთ ატომურ ბმაზე მეტი აქვთ), ანუ ე.წ. ბუნებრივ სათბურის გაზებთან ერთად განაპირობებს დედამიწის კლიმატის რეგულაციას. ეს გაზები მზის მოკლეტალღოვან რადიაციას დედამიწის ზედაპირამდე თითქმის შეუფერხებლად ატარებენ, ხოლო ინფრაწითელი რადიაციის დაახლოებით 90%-ს კი - შთანთქავენ. ერთზე მეტი სუსტი ატომური ბმები ვიბრირებენ და სითბოს გამოყოფენ. ეს იწვევს ჰაერის ქვედა ფენების გათბობას, ანუ ბუნებრივ „სათბურისმაგვარ ეფექტს“. ამის გამო დედამიწაზე გაბატონებულია სიცოცხლისთვის ხელსაყრელი ტემპერატურები. მრავალი ათასწლეულის მანძილზე დედამიწაზე დამყარდა წონასწორობა მზიდან მიღებულ და დედამიწის მიერ

გაცემულ ენერგიებს შორის, რამაც განაპირობა თანამედროვე კლიმატის ჩამოყალიბება და სტაბილიზაცია. ადამიანის გააქტიურებულმა საქმიანობამ განაპირობა როგორც „სათბურის ეფექტის“ გამომწვევი ბუნებრივი გაზების ემისიის ზრდა, ასევე „ინდუსტრიული გაზების“, განსაკუთრებით კი ფტორ-ქლორ-ნახშირწყალბადების მატება, რის გამოც სულ უფრო მეტი სითბო რჩება დედამიწისპირა ატმოსფეროში (დაახლოებით 6 კმ-იან ფენაში) და იზრდება მისი ტემპერატურა. ასე დაიწყო დედამიწაზე კლიმატის გლობალური ცვლილების პროცესი - ჰაერის ტემპერატურის ზრდა.

არსებობს მონაცემები, რომ დედამიწის საშუალო ტემპერატურამ მე-20 საუკუნის შუახნიდან დღემდე  $0.7^{\circ}\text{C}$ -ით მოიმატა, ხოლო ჰაერის საშუალო ტემპერატურამ 1850 წელთან შედარებით -  $1.1^{\circ}\text{C}$ -ით. პროგნოზების მიხედვით, 2030 წლისთვის ჰაერის საშუალო ტემპერატურა, 1750 წელთან შედარებით, შეიძლება  $3^{\circ}\text{C}$ -ითაც კი გაიზარდოს (Larcher, 2003). მთელი დედამიწის მასშტაბით ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე დღეისათვის შექმნილია კლიმატის გლობალური ცვლილების ერთმანეთისგან განსხვავებული პროგნოზული მოდელები (IGBP, WMO, GCMS, IPCC, CCSR/NIES, CCCma, CSIRO, Hadley Centre, GFDL, MPIM, NCAR PCM, NCAR CSM, GCMS და სხვ.). ყველაზე ოპტიმისტური პროგნოზის მიხედვით, მომავალ 30-50 წელიწადში ტემპერატურა საშუალოდ  $1-1.5^{\circ}\text{C}$ -ით აიწევს. General Calculation (GCMS)-ის, NCAR PCM და NCAR CSM მოდელები კი პროგნოზირებენ ტემპერატურის  $2.3-2.5^{\circ}\text{C}$ -ით გაზრდას და  $\text{CO}_2$ -ის კონცენტრაციის გაორმაგებას. ყველაზე პესიმისტური მოდელები (Hadley Centre, CCCma, CSIRO და CCSR/NIES) 2100 წლისთვის ვარაუდობენ ტემპერატურის გაზრდას  $3.8-5.6^{\circ}\text{C}$ -ით და ასევე  $\text{CO}_2$ -ის კონცენტრაციის გაორმაგებას (IPCC, 2001; Houghton et al., 2001; McCarthy et al., 2001). NASA-ს მიხედვით, ყველაზე ცხელი წლები აღინიშნა 1990 წლის შემდგომ. მათ შორის, აღსანიშნავია 1998, 2002, 2003 და 2005 განსაკუთრებით ცხელი წლები. უკანასკნელი საუკუნეების განმავლობაში სწორედ 2005 წელია ყველაზე ცხელი. ტემპერატურის მატება მე-20 საუკუნეში თანაბარი არ ყოფილა: პირველი მკვეთრი ზრდა აღინიშნა მის პირველ ნახევარში, ხოლო მეორე - უფრო ძლიერი - უკანასკნელი 30 წლის მანძილზე. ამ ორ პიკს შორის იყო ერთგვარი სტაბილიზაცია და ზოგიერთ

შემთხვევაში, სუსტი დაწევაც კი. ნიშანდობლივია, რომ კლიმატის განუხრელ დათბობაზე მიუთითებს არა იმდენად საშუალო წლიური ტემპერატურა, რამდენადაც ზამთრის მინიმალური ტემპერატურების შემცირება, რაც განსაკუთრებით შესამჩნევია ევროპასა და აზიაში (Körner, 2003). რასაკვირველია, დედამიწაზე ადრეულ ეპოქებშიც არსებობდა მნიშვნელოვანი ტემპერატურული ფლუქტუაციები, რომლებსაც რეგულარული ხასიათი ჰქონდა (Webb, 1986; Roeckner, 1992; Webb, Bartlein, 1992). უკანასკნელი გამყინვარება (ვიურმის პერიოდი) 1500 წლის წინ დამთავრდა. მაშინ ცენტრალურ ევროპაში ჰაერის საშუალო ტემპერატურა 10°C-ით უფრო დაბალი იყო, ვიდრე ეს დღეს არის.

ატმოსფეროში CO<sub>2</sub>-ის კონცენტრაციის დღევანდელი დონე შენარჩუნდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ინდუსტრიალიზაციის ტემპები 3-ჯერ მაინც შემცირდება, რაც ალბათ არარეალურია. უფრო რეალურია წამყვანი ინდუსტრიული ქვეყნების მიერ მაღალი ტექნოლოგიების განვითარება და წარმოებაში დანერგვა, თუმცა გლობალური მასშტაბით მას მცირე დადებითი ეფექტი მოჰყვება.

ნიშანდობლივია, რომ მთელი დედამიწისთვის ტემპერატურის საშუალოდ გამოთვლილი მატება სულაც არ ასახავს იმ პროცესებს, რომელთაც რეგიონული ხასიათი აქვთ. რეგიონული თავისებურებები დამოკიდებულია რადიაციის ბალანსზე და, განსაკუთრებით, ჰაერის მასების დინამიკასა და ოკეანის დინებებზე (Larcher, 2003; Körner, 2003).

ცვლილებები აღინიშნება არა მხოლოდ ჰაერის, არამედ წყლის ტემპერატურაშიც. მსოფლიო ოკეანის საშუალო ტემპერატურამ უკვე საგრძნობლად აიწია და 17.5°C-ს მიუახლოვდა. წყლის ტემპერატურის ცვლილება, ისევე როგორც ჰაერისა, არაერთგვაროვანია. მაგალითად, ბოლო 90 წლის განმავლობაში ატლანტის ოკეანის ტემპერატურამ 1°C-ით მოიმატა, ხოლო ნორვეგიის ზღვისამ - 2°C-ით. გლობალური დათბობის შედეგად, შესაძლოა, გაქრეს გოლფსტრიმის დინება, რომელსაც სუბტროპიკებიდან და ტროპიკებიდან დიდძალი სითბო გადააქვს არქტიკის მიმართულებით. ამჟამად დინების ძალა უკვე 10%-ითაა შემცირებული (UNFCCC, 2010). მომავალ 100 წელიწადში ამ დინების სრული გაქრობის პერსპექტივა 50%-ს აჭარბებს, ხოლო 2200 წლისთვის მისი გაქრობის ვარაუდი 70%-ზე მეტია.

გოლფსტრიმის დინების შემცირება, ძირითადად გრენლანდიისა და არქტიკის ყინულების დნობის გამო ხდება, რაც, თავის მხრივ, იწვევს კლიმატის ცვლილებებს. ანტარქტიდაში თავმოყრილია დედამიწის ყინულის მარაგის დაახლოებით 90%. მისი დნობის სიჩქარე უკვე შემაშფოთებელ სიდიდეს აღწევს: ბოლო 50 წელიწადში ანტარქტიდის ყინულის ფარის ფართობი 13000 კმ<sup>2</sup>-ით შემცირდა (CEC, 2007; Dosio et al., 2012). ყინულის ასეთი ტემპით დნობა მსოფლიო ოკეანის დონის რამდენიმე მეტრით აწევას გამოიწვევს, აქედან გამომდინარე ყველა უარყოფითი შედეგით (Larcher 1995, 2003).

ჰაერისა და მსოფლიო ოკეანის წყლის გათბობის შედეგად უნდა მოიმატოს აორთქლებამ, მაგრამ ოკეანე ინერციის შედეგად (მის სიღრმეში არსებული ცივი წყლის უზარმაზარი მარაგის გამო) კიდევ დიდხანს შეინარჩუნებს ამჟამინდელთან მიახლოებულ ტემპერატურას. ამიტომ აორთქლების ინტენსივობა შეიცვლება და ატმოსფერო ვერ მიიღებს დამატებით წყლის ორთქლს. ამით დაეცემა კონდენსაციის ალბათობა და, შესაბამისად, შემცირდება წვიმები. დადგება “თანამედროვე გვალვის” პერიოდი. ყოველივე ეს დაკავშირებული იქნება თოვლის რეჟიმთან, ნიადაგისა და გრუნტის წყლების რაოდენობასთან (Larcher, 1995, 2003).

ნავარაუდევია, რომ 2100 წლისთვის დედამიწაზე მოსახლეობა 14 მილიარდს მიაღწევს. ასეთი მატება გამოიწვევს ენერგიის დანახარჯების ადექვატურ ზრდას და სითბოს რაოდენობის კოლოსალურ მომატებას (როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, 3.8°C-დან 5.6°C-მდე; (IPCC, 2001; Houghton et al., 2001; McCarthy et al., 2001), რასაც, ცხადია, გლობალური მასშტაბით მრავალი უარყოფითი მოვლენა მოჰყვება, კერძოდ: წყალდიდობები სანაპირო ზოლებში; პოლინეზიაში და მიკრონეზიაში მრავალი პატარა კუნძულის ჩაძირვა; ბევრგან მანგრის მცენარეულობის განადგურება; მარჯნის რიფების, მათ შორის, ავსტრალიის დიდი ბარიერული რიფის ბინადართა დაღუპვა; წყალმოვარდნები მთისა და ბარის მდინარეებში; მყინვარების უკან დახევა, ზოგიერთის გაქრობა, თოვლის საფარის სიმძლავრისა და ხანგრძლივობის შემცირება, რაც საბოლოო ჯამში, მტკნარი წყლის ბალანსის დარღვევას გამოიწვევს; ზვავების, მეწყერების, ეროზიული მოვლენების გახშირება; სათიბ-სამოვრების რეჟიმის დარღვევა და მათი გადანაცვლება უფრო მაღალ ჰიფსომეტრულ სიმაღლეებზე; ტყის

ზედა საზღვრის სტრუქტურის დარღვევა, რაც დაბლობის ჰიდროლოგიურ რეჟიმზე უარყოფითად იმოქმედებს; მცენარეული სარტყლების საშუალოდ 700 მ-ით ზემოთ გადანაცვლება; ხანძრების რიცხვის ზრდა; გაუდაბნოების პროცესების განვითარდება და მოსავლიანობის შემცირება; ადრეგაზაფხულის გვალვების გახშირება და მცენარეთა თესლით გამრავლების შეზღუდვა; სოკოვანი დაავადებების გახშირება; მავნებლების გამრავლება; განვითარებად ქვეყნებში 1.5 მილიარდ ადამიანს დაემუქრება შიმშილით გამოწვეული ლეტალური შედეგი.

კლიმატის ცვლილების ეფექტი მინიმალური იქნება ტროპიკულ მცენარეულობაზე და მაქსიმალური - მაღალმთის, ბორეალური ტყეებისა და ტუნდრის მცენარეულობაზე. ცნობილია, რომ ხე-მცენარეები და ბალახოვან მცენარეთა უმეტესობა გარემო ფაქტორების მკვეთრ ცვლილებაზე ვერ პასუხობენ შეგუებით - ისინი, როგორც წესი, იცვლიან არეალს. წინასწარი შეფასებიდან გამომდინარე, მარტო ევროპის ალპებში დაიღუპება 120 სახეობაზე მეტი მცენარე. უპირველეს ყოვლისა, გადაშენების საფრთხე დაემუქრებათ ვიწრო თერმულ დიაპაზონთან შეგუებულ მცენარეებს (უმეტეს შემთხვევაში, დღეს სწორედ ისინი განიხილებიან როგორც იშვიათი სახეობები). ასეთებია: ადრე გაზაფხულის გეოფიტები, თოვლისა და მყინვარისპირა მცენარეები, “ალპური ხალების” სახეობები, სუბალპური მაღალბალახეულობის წარმომადგენლები. ძლიერ სენსიტიურთა კატეგორიას განეკუთვნებიან, აგრეთვე ხიონოფიტები, ანუ ის მცენარეები, რომელთა ნორმალური ცხოველმოქმედებისათვის და, ხშირ შემთხვევაში, გადარჩენისთვის აუცილებელია ხანგრძლივი თოვლის საფარი. ასეთებია, მაგალითად, *Rhododendron*-ის გვარის წარმომადგენლები, რომლებიც კავკასიაში ტყის ზედა საზღვრის ერთ-ერთ უმთავრეს კომპონენტს წარმოადგენენ. მაღალმთის მცენარეები გაზრდილი ულტრაიისფერი რადიაციის გაზრდილი ინტენსივობით არ დაზიანდებიან, სამაგიეროდ, ამ მხრივ დიდი საფრთხე ელის ტუნდრის ჯუჯა ბუჩქნარ მცენარეულობას. შეიცვლება და დაირღვევა ცალკეული ეკოსისტემის ენერგეტიკული ბალანსი. ეკოსისტემებში ორგანიზმთა შორის ურთიერთობის დამყარებას და ამით ეკოსისტემის ჩამოყალიბებას ათასეულობით წელიწადი სჭირდება. კლიმატის შეცვლა გაცილებით უფრო სწრაფად მოხდება, ვიდრე მცენარეთა შორის ახალი

ურთიერთობების ჩამოყალიბება. ამიტომ დღევანდელი სახით არსებული ხანგრძლივი ევოლუციის შედეგად ჩამოყალიბებული მცენარეთა თანასაზოგადოებები შეიცვლება (Körner, 1992, 2003; Grabherr et al., 1994; Larcher, 1995, 2003; Holten, 2003; Theurillat, 1995; Sala et al., 2000; Osenda, Borel, 2003; Walter et al., 2005a, b).

## **1.2 მაღალმთა როგორც კლიმატის გლობალური ცვლილების ინდიკატორი**

მაღალმთა ყოველთვის ძალიან მიმზიდველი იყო ფიტოეკოლოგიური კვლევებისთვის. გასული საუკუნის 40-იან წლებამდე მაღალმთის მცენარეთა კვლევა მხოლოდ ევროპის ზომიერ სარტყელში მიმდინარეობდა. კ. გესნერის (რომელმაც 1555 წელს დალაშქრა მთა პილატუსი) ნაშრომი - "Description Montis fracti" - დღესაც აქტუალურია იქაური მცენარეულობის აღწერის თვალსაზრისით (Grabherr, 1997; Zoller, 2000).

მე-19 საუკუნეში კერნერის მიერ ტიროლში ჩატარებული ნაშრომები პირველი ექსპერიმენტული კვლევებია (Kerner, 1869). ბევრად მოგვიანებით ბონიესა და ვაგნერის შრომებმა საფუძველი ჩაუყარა მაღალმთაში ეკოფიზიოლოგიურ კვლევებს (Bonier, 1890a, 1895; Wagner, 1892). აღსანიშნავია ინსბრუკის ჯგუფის მრავალწლიანი შრომები ა. პიზეკის ხელმძღვანელობით (Pizek, 1960). მათ შეისწავლეს ტყის ზედა საზღვრისა და მის ზემოთ გავრცელებული მცენარეების ეკოლოგიური ასპექტები (Pizek, Larcher, 1954; Friedel, 1961; Tranquillini, 1964, 1979). უფრო მოგვიანებით ვ. ლარხერის (Larcher, 1977) ჯგუფმა დაიწყო ალპურ სარტყელში ეკოსისტემების შესწავლა, რაც საერთაშორისო ბიოლოგიური პროგრამის (MAB - „ადამიანი და ბიოსფერო“) უმთავრესი შემადგენელი ნაწილი იყო (Larcher, 1981, 2008; Cernusca, Seeber, 1981; Cernusca, 1989 და სხვ.). ასევე მნიშვნელოვანია სკანდინავიასა (Turesson, 1925; Dahl, 1986; Sonesson et al., 1991 და სხვ.) და შოტლანდიის მთებში ჩატარებული კვლევები (Callaghan, 1976; Woodward, 1983; Friend, Woodward, 1990 და სხვ.).

კლიმატის დათბობა დედამიწის ყველა ეკოსისტემაზე მოახდენს მეტ-ნაკლებ გავლენას, მაგრამ განსაკუთრებით მკვეთრ და ბევრ სხვა ბიომთან შედარებით სწრაფ ცვლილებებს უნდა ველოდოთ მაღალმთაში - როგორც არქტიკული და ზომიერი, ისე ტროპიკული სარტყლების.

თუკი კლიმატის დათბობის ზოგიერთი მოდელი (თუნდაც ყველაზე ოპტიმისტური, ან ზომიერთან მიახლოებული) გამართლდა, ანუ მომავალ 20-30 წელიწადში ატმოსფეროს საშუალო ტემპერატურამ  $1.5-2.5^{\circ}\text{C}$ -ით მოიმატა, მოხდება მყინვარების სერიოზული უკან დახევა. Skywatch-media.com-ის მონაცემებით, 2009 წელს, 2000 წელთან შედარებით, დედამიწის მყინვარების 10% უკვე გაქრა, ხოლო მრავალი მათგანის ფართობი მნიშვნელოვნად შემცირდა. ზომიერი სარტყლის მთებში მყინვარების დნობის თანამედროვე ტემპი წელიწადში საშუალოდ 1.5 მ-ს აღემატება.

ევროპის მთებში თითქმის ყველგან მკვეთრად შეიზღუდება ალპური სარტყელი, მაგრამ განსაკუთრებით დრამატული ცვლილებები ნივალურ სარტყელშია მოსალოდნელი. მუდმივი თოვლისა და ყინულის სარტყელი შემორჩება მხოლოდ მონბლანის მასივზე, დასავლეთ შვეიცარიასა და ნაწილობრივ - ტიროლის ალპებში (ავსტრია). ბევრი სამთო-სათხილამურო სპორტის ცენტრი გაუქმდება. მთებში გახშირდება ზვავები, მეწყერები, ღვარცოფები და ეროზიული მოვლენები (Osenda, Borel, 2003; Walter et al., 2005a, b).

შესაბამისად, მნიშვნელოვანი ცვლილებებია მოსალოდნელი მაღალმთის მცენარეულ საფარში. მაღალმთის სასიცოცხლო ზონაში ანუ ტყის ზედა საზღვრის ზემოთ მდებარე არეში (Körner, 2012a) მცენარეთა სახეობრივი მრავალფეროვნების ხარისხი განსაკუთრებით დიდია (Grabherr et al, 1995, 2000b; Nakhutsrishvili, 1999, 2013; Burga et al., 2004; Körner, 2009, 2013). ეს მოვლენა მრავალი ფაქტორითაა განპირობებული. მრავალი ავტორის ნაშრომებში გამოყოფილია შემდეგი მიზეზები: გეოგრაფიული იზოლაცია, ტექტონიკური მოძრაობები, კლიმატური ცვლილებები, გამყინვარება, ჰაბიტატებისა მიკროჰაბიტატების დიფერენციაციის მაღალი ხარისხი, მიგრაციის ცვალებადი ისტორია, ევოლუცია და სხვ. (Agakhanyans, Breckle, 1995; Körner, 1995, 2003; Spehn, Körner, 2009). მაღალმთის მცენარეული

თანასაზოგადოებები ერთ-ერთ ყველაზე უფრო სენსიტურად მიიჩნევა, ვინაიდან მათი არსებობა დაკავშირებულია ჰაერისა და განსაკუთრებით, ნიადაგის დაბალ ტემპერატურებთან (Körner, Larcher, 1988; Körner, 1999, 2011, 2013; Guisan, Theurillat, 2001; Ozenda, Borel, 2003). მაღალმთის მცენარეთა მრავალფეროვნებაზე ყველაზე ძლიერ გავლენას ახდენს ორი ფაქტორი. ესენია: (1) მაღალმთის მიწათსარგებლობის ტიპი, განსაკუთრებით ექსტენსიური მოვება და (2) გლობალური დათბობა. ამ ცვლილების მთავარ ინდიკატორად მიიჩნევენ მაღალმთის ნიადაგების სტაბილურობას. ფერდობზე ნიადაგი მხოლოდ მცენარეული საფარის არსებობის დროს ჩერდება. შესაბამისად, მაღალმთაში ანთროპოგენული ფაქტორების ზემოქმედების შეფასების კრიტერიუმად, ქ. კიორნერის აზრით, მიჩნეული უნდა იქნეს ნიადაგის მცენარეულობით დაფარულობა და ინტაქტური ფესვთა სისტემა (კიორნერი, 2008). მაღალმთაში მრავალი იშვიათი, რელიქტური, ენდემური და ეკონომიკური მნიშვნელობის მცენარე გვხვდება (Grabherr et al., 1995; Körner, 1995; 2002a,b; Barthlott et al., 1996; Nakhutsrishvili, Gagnidze, 1999; Schatz et al., 2009; Nakhutsrishvili et al., 2013a). მცენარეთა ზრდა-განვითარება ობიექტურად არხელსაყრელ გარემოში მიმდინარეობს, სადაც ძალიან მცირე ფართობზეც კი კარდინალურად განსხვავებულული ეკოლოგიური და ედაფური პირობებია შექმნილი, რაც მოითხოვს მცენარეთა ფუნქციურ მრავალფეროვნებასაც. ეს უკანასკნელი გამოხატულია ბიოქიმიური და ფიზიოლოგიური მექანიზმებით განპირობებული ადაპტაციური სტრატეგიების მრავალფეროვნებაში (Larcher, Nakhutsrishvili, 1982; Körner, 1995; Larcher, 1995; აბდალაძე, 2011). ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, რადგან მაღალ ჰიფსომეტრულ სიმაღლეებზე მცენარეთა ნორმალური ფუნქციონირება საკმაოდ შეზრუდულია ჰაბიტატის ფიზიკური კომპონენტებით (ლარხერი, 2006; კიორნერი, 2008).

განსაკუთრებით აღსანიშნავია მცენარისპირა მცენარეები, რომლებიც იზრდებიან საკვებს მოკლებულ მოძრავ სუბსტრატზე და საზრდოობენ მხოლოდ მცენარის ნაღვრით წყლებში გახსნილი საკვები ნივთიერებებით. მცენარეების ზემოთ გადანაცვლების პერსპექტივა ამ მცენარეთათვის შეიძლება კატასტროფული გამოდგეს, ვინაიდან მათ მხოლოდ გარკვეულ სიმაღლემდე შეეძლებათ მცენარის

„მიდევნება“ (Körner, 1999; კიორნერი, 2008). ზომიერი სარტყლის ტყის ზედა საზღვრის ზემოთ მდებარე არე გაცილებით უფრო სენსიტიურია, ვიდრე მთის შედარებით დაბალ სიმაღლეებზე განვითარებული თანასაზოგადოებები (Körner, 1992, Pauli et al., 2004), მაგრამ უშუალოდ ტყის ზედა საზღვრის ეკოტონის თანასაზოგადოებები (მარადმწვანე გართხმული ბუჩქნარი, ჯუჯა ბუჩქნარი, ტანბრეცილი ტყე, მაღალბალახეულობა) ყველა პარამეტრით შეფასებულია როგორც ყველაზე სენსიტიური (Larcher, 1995, 2003; Körner, 1999; Nakhutsrishvili, 2013).

ტემპერატურის მომატებით გამოწვეული გარემო ფაქტორების მალიმიტირებელი ეფექტის შემცირება ხელს შეუწყობს შედარებით დაბალი სიმაღლეებიდან „დამპყრობელ“ სახეობათა შეჭრას და გამოიწვევს საკუთრივ სუბნივალურ მცენარეთა უფრო დიდ სიმაღლეზე მიგრაციას. მიგრაციის რეალური ხარისხი დამოკიდებული იქნება მის კონკრეტულ გზებზე. ზოგიერთი მოსაზრების თანახმად (Grabherr et al., 1995; Gottfried et al., 1999) სახეობათა მასობრივი ვერტიკალური მიგრაციის მისაღებ ალტერნატივად შეიძლება ჩაითვალოს მათ მიერ ეკოლოგიური თვალსაზრისით მისაღები კონკრეტული ნიშის დაკავება, თუნდაც იგივე სიმაღლის განსხვავებულ ექსპოზიციაზე (მაგალითად, სამხრეთ ექსპოზიციიდან ჩრდილო-დასავლეთ ან ჩრდილოეთ ექსპოზიციის ფერდობზე მიგრაცია). ასეთ ცვლილებებს ხელს შეუწყობს მიკროტოპოგრაფიულად ძლიერ დიფერენცირებული სუბნივალურ-ნივალური სარტყლის რელიეფი (Körner, 2011, 2013). ეს კი შექმნის იმის წინამძღვრებს, რომ გლობალური ცვლილებების ეპოქაში მაღალმთის მცენარეთა სახეობრივმა მრავალფეროვნებამ არ განიცადოს სერიოზული გენეტიკური ეროზია (Scherrer, Körner, 2010, 2011; Scherrer et al., 2010), რადგან ნაკლებად ადაპტირებული სახეობები ადექვატურ ნიშებში გადაინაცვლებენ (Grabherr et al., 1995; Gottfried et al., 1999). თუკი გავითვალისწინებთ მაღალმთის მცენარეთა უმეტესობის სტრესისადმი რეზისტენტულობას, მეტაბოლური და ზრდის პროცესებისთვის საჭირო ტემპერატურის ფართო დიაპაზონს, გადარჩენისთვის მათ საკმაოდ კარგი პერსპექტივები უნდა გააჩნდეთ (Larcher et al., 2008; Körner, 2003; Larcher, 2012).

მრავალმა დაკვირვებამ, მაგალითად, ევროპის ალპებში (Gottfried et al., 1994; Grabherr et al., 2001; Körner, 1998a; Walter et al., 2005a, b; Erschbammer et al., 2011), სკანდინავიის მთებში (Klanderud, Birks, 2003), ჩრდილოეთ ამერიკის კლდოვან მთებში (Price, Barry, 1997; Callaway, 1998) და დიდ კავკასიონზე (Nakhutsrishvili, 2003; Nakhutsrishvili et al., 2004; Dullinger et al., 2008; Erschbammer et al., 2010; Nakhutsrishvili et al., 2013b; Gottfried et al., 2012; Pauli et al., 2012) აჩვენა, რომ ზოგიერთი მცენარის არეალი, გავრცელების თავისებურებანი და სიცოცხლისუნარიანობა გარკვეულ ცვლილებებს უკვე ამჟამად განიცდის.

განსაკუთრებით ინფორმატიულია ისეთი დაკვირვებები, როდესაც ერთი და იგივე თანასაზოგადოებებზე (და ერთი და იმავე ადგილზე) ხდება სახეობრივი მრავალფეროვნების შედარება დროის დიდი ინტერვალით. დეტალურმა ანალიზმა აჩვენა, რომ მაგალითად, ტიროლის ალპებში (ავსტრია) განვითარებულია ისეთი სახეობებიც, რომლებიც არ ფიგურირებდნენ მე-19 საუკუნის ბოლოს ამავე თანასაზოგადოებების თავდაპირველ აღწერებში. დადგინდა, რომ მათ შედარებით დაბალი სიმადლეებიდან განიცადეს მიგრაცია უფრო მაღალ სიმადლეებზე (Grabherr et al., 1994, 2001), რაც ადასტურებს მოსაზრებას იმის შესახებ, რომ კლიმატის გლობალური ცვლილება არა რაიმე ჰიპოთეტური მოვლენაა, არამედ უკვე რეალურად მიმდინარე პროცესია და ის უკვე ახდენს გარკვეულ გავლენას სახეობათა არეალზე და მაღალმთაში მცენარეთა განაწილებაზე (Walter et al., 2002; Parmesan, Yohe, 2003; Root et al., 2003).

მსგავს ცვლილებებზე დასაკვირვებლად და მაღალმთის მცენარეულობის შესაძლო ტრანსფორმაციის მოდელირებისთვის, უპირველეს ყოვლისა, აუცილებელია *in situ* მონიტორინგი მცენარეთა მრავალფეროვნებაზე ჰიფსომეტრული გრადიენტის მიხედვით (Grabherr et al., 2001; Dullinger et al., 2008).

GLORIAS- ს პროექტის ფარგლებში ჩატარებულმა კვლევებმა ნათლად აჩვენა, რომ ტემპერატურის მომატება მაღალმთაში იწვევს გარკვეულ ცვლილებებს მცენარეთა მრავალფეროვნებაში და აღინიშნება ცალკეულ სახეობათა ვერტიკალური მიგრაცია. აღსანიშნავია ავსტრიის მაღალმთაში ჩატარებული კვლევების შედეგები (Pauli et al., 2007, 2010). საკვლევი რაიონის (1994–2004 წლებში აღინიშნა

ტემპერატურის მომატება 0,8°C-ით) მაღალმთაში ადგილი ჰქონდა დაბალი სიმაღლეების მცენარეთა ჰაბიტატის გაფართოებას, მაშინ როცა აღინიშნა იმ სახეობათა რიცხვის შემცირება, რომლებიც შეგუებულნი იყვნენ უფრო ცივ საარსებო გარემოს. საფრთხე დაემუქრა ისეთ სახეობებს, როგორიცაა: *Cerastium uniflorum*, *Luzula spicata*, *Saxifraga bryoides*. ეს ტენდენცია აღნიშნული იყო უფრო ადრეულ კვლევებშიც (Gottfried et al., 1998, Pauli et al., 1999). მაღალმთის მცენარეთა განვითარებაზე სერიოზულ გავლენას ახდენს არა მარტო ტემპერატურის მომატება, არამედ თოვლის საფრის ხანგრძლივობაც. (Jonas et al., 2008).

მცენარეთა ვერტიკალური მიგრაცია და სახეობათა სიმდიდრის მატება დაფიქსირდა ცენტრალური იტალიის მაღალმთაში (Stanischi et al., 2005), სადაც გამოავლინდა ალპურ სარტყელში მცენარეთა სახეობრივი მრავალფეროვნების ზრდა, განსაკუთრებით აღმოსავლეთ ექსპოზიციაზე. ჩრდილოეთ ექსპოზიცია უფრო ნაკლებად მდიდარია სახეობებით და უფრო კონსერვატულია. აქაც აღინიშნა უფრო ცივი ჰაბიტატის მცენარეთა რიცხვის შემცირება და საფრთხის ქვეშ აქაც აღმოჩნდნენ მაღალ სიმაღლეზე გავრცელებული ენდემები (*Vitaliana primuliflora*, *Viola maglensis*, *Saxifraga italica*). პაროლომ და როსიმ (Parolo, Rossi 2008) 2003-2005 წლებში იტალიის ალპებში აღრიცხული სახეობათა რაოდენობა შეადარეს იგივე ტერიტორიაზე 1954-1958 წლებში მიღებულ შედეგებს. სახეობათა რაოდენობამ მოიმატა და სახეობათა მესამედის არიელმა გადაინაცვლა უფრო მაღალ ჰიფსომეტრულ სიმაღლეზე.

საინტერესო მონაცემები მიღებული იქნა სამხრეთ და ცენტრალურ ალპებში ჩატარებული კვლევების შედეგად (Erschbamer et al., 2003, 2006, 2010, 2011). ამ რეგიონში აღინიშნა მცენარეთა მრავალფეროვნების ცვლილება ტყის ზედა სარტყლიდან ალპურ სარტყლამდე, ტყის ელემენტების შეჭრა ალპურ მდელოებზე, რაც ამ უკანასკნელს გარკვეული საფრთხე შეუქმნა. უფრო სტაბილური ჩრდილოეთ ექსპოზიცია აღმოჩნდა, ნიადაგის განუვითარებლობისა და უფრო დაბალი ტემპერატურის გამო. ერთი ენდემური სახეობა (*Potentilla nitida*) კი გაქრა.

ასევე ყურადსაღები შედეგებია მიღებული ავსტრალიის მაღალმთაში GLORIA-ს პროექტის ფარგლებში ჩატარებული კვლევებისას (Pickering et al., 2008). აქ აღინიშნა სახეობათა სიმდიდრის ზრდა ვერტიკალური გრადიენტის მიხედვით.

ტემპერატურის მომატებამ და თოვლის საფრის შემცირებამ გამოიწვია ისეთი სასიცოცხლო ფორმების რაოდენობის გაზრდა, როგორიცაა ბუჩქები. ავსტრალიის მაღალმთაში, სადაც არ არსებობს ნივალური სარტყელი, კლიმატის ცვლილება ყველაზე მეტად ემუქრება ალპურ მცენარეებს (Pickering et al., 2008). მსგავსი შედეგი მიიღეს ნორვეგიის მაღალმთაში (Michelsen et al. 2010). GLORIA-ს სამონიტორინგო ნაკვეთებზე, 2001-2008 წლებში დაბალ ჰიფსომეტრულ სიმაღლეზე გაიზარდა ისეთი მცენარეების სიმდიდრე და დაფარულობა, როგორიცაა ბუჩქები და მარცლოვნები, ხოლო ლიქენების - შემცირდა.

2010 და 2012 წლებში გამოქვეყნდა ევროპის მაღალმთიანი რეგიონების მონიტორინგის შედეგები (Pauli et al, 2010, 2012), სადაც აღნიშნულია, რომ 2001-2008 წლებში ამ რეგიონში ტემპერატურის მატებამ გამოიწვია მაღალმთის მცენარეულობის სიმდიდრისა და დაფარულობის ცვლილება, ზოგიერთი სახეობა საერთოდ გაქრა. ამ პროცესებზე პირდაპირ მოქმედებს თოვლის საფრისა და ზრდის სეზონის (GDD) ხანგრძლივობის ცვლილება. საგანგაშო შედეგები იქნა მიღებული ხმელთაშუაზღვის რეგიონში, სადაც აღინიშნა სახეობების რაოდენობის შემცირება.

საქართველოს მაღალმთაში კლიმატის ცვლილების შესაძლო ეკოლოგიური პერსპექტივები და მცენარეულობის მოსალოდნელი ტრანსფორმაციის ზოგიერთი ტენდენცია (მათ შორის: მცენარეულობის ვერტიკალური ზონალობისა და ბუნებრივი ეკოსისტემების სტრუქტურის ცვლილება; ქსეროფიტიზაცია; მედიტერანიზაცია; ადვენტიზაცია; ლაუროფილიზაცია და სხვ.) გაანალიზებულია GLORIAS-ს პროექტის დაწყებამდე გამოქვეყნებულ რამდენიმე ნაშრომში (Nakhutsrishvili et al., 1999a,b; ნახუცრიშვილი 1999; საქართველოს მეორე ეროვნული შეტყობინება გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისთვის, 2009). ცენტრალურ კავკასიონზე 2004-2009 წწ ჩატარდა ტყის ზედა საზღვრის ეკოტონის კვლევა, რამაც გამოავლინა ტანბრეცილი არყნარი ტყის დომინანტის *Betula litwinowii*-ის თესლწარმოქმნის პროცესის გაძლიერება, მისი ახალგაზრდა და მოზარდი ინდივიდების მატება, დეკასთან ფაცილიტაციური ურთიერთობების გავლენა ახალგაზრდა ინდივიდების დამკვიდრებაზე და ზოგადად, არყნარი ტყის გარკვეული ექსპანსია ჩრდილოეთის ექსპოზიციის იმ ფერდობებზე, სადაც ის გაჩეხვისა და ჭარბი ძოვების გამო ადრე

წარმოდგენილი არ იყო (Nakhutsrishvili et al., 2004a,b; Akhalkatsi et al., 2004, 2006; Abdaladze et al., 2005; Hughes et al., 2009). ყაზბეგის რაიონში (ცენტრალური კავკასიონი) 2001 წლიდან დაიწყო GLORIA-ს პროექტით გათვალისწინებული სამუშაოები და პირველი სამონიტორინგო ციკლის უმთავრესი შედეგები უკვე გამოქვეყნებულია (Dullinger et al., 2007; Erschbamer et al., 2010, 2013; გიგაური და სხვ. 2011; Gottfried et al., 2012; Pauli et al., 2012; Gigauri et al., 2013, 2014; Nakhutsrishvili et al 2013).

### *1.3 GLORIA-ს პროექტის ისტორია*

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, თანამედროვე მსოფლიოში კლიმატის გლობალური დათბობა და მისი გავლენა მცენარეულობაზე, მათ შორის მაღალმთის მცენარეულობაზე, ყველაზე აქტუალური ეკოლოგიურ პრობლემათაგან ერთ-ერთია (Körner, 1998; Grabherr et al., 2001; Pauli et al., 2004). ამასთან დაკავშირებით, მრავალი პროგნოზი და მოსაზრებაა გამოთქმული. არსებობს სხვადასხვა მოდელი, როგორც ოპტიმისტური (2100 წლისთვის ატმოსფეროს ტემპერატურის გლობალური მომატება 1.5°C-ით), ისე პესიმისტური (ტემპერატურის გაზრდა ეტაპობრივად 5.6°C) (IPCC, 2001; Houghton et al., 2001; McCarthy et al., 2001; Vautard et al., 2014). ყველანაირი გათვლებით მოსალოდნელია მცენარეულობის სერიოზული ტრასფორმაცია, რაც გულისხმობს უახლოეს რამდენიმე ათწლეულში ტაქსონომიური მრავალფეროვნების მნიშვნელოვან ცვლილებას (Grabherr et al., 1994, 2010; Sala et al., 2000; Bakkenes et al., 2002; Dullinger et al., 2008; Grabherr 2009; Spehn, Rudmann-Maurer, 2010; Körner, 2012b, 2013 ).

ამ ცვლილებებზე დასაკვირვებლად და მაღალმთის მცენარეულობის შესაძლო ტრანსფორმაციის მოდელირებისთვის 2001 წელს საფუძველი ჩაეყარა ევროკავშირის მიერ მხარდაჭერილ პროექტებს (GLORIA-EUROPE და მოგვიანებით - GLORIA-WORLDWIDE), რომლებიც ითვალისწინებენ მუდმივი სამონიტორინგო ქსელის შექმნას მთელი დედამიწის მასშტაბით (ყველა მაღალმთიან რეგიონში) და

ხანგრძლივ პერსპექტივაში (50 წელი და მეტი) დაკვირვებას (7 წლიანი ინტერვალებით) ალპურ მცენარეთა მრავალფეროვნებაზე (Pauli et al., 2004).

GLORIA-ს პროექტში გამოყენებული მეთოდი შემუშავდა და დაიხვეწა 1997-1999 წლებში ავსტრიის მეცნიერებათა აკადემიის მაღალმთის კვლევის ინსტიტუტში, ხოლო მისი დაწყება დაკავშირებული იყო ისეთ პროგრამებთან, როგორიცაა: Mountain Research Initiative (MRI) და The Global Terrestrial Observation System (GTOS) (Becker, Bugmann, 1997, 1999). 1997 წელს ავსტრიის ეკოლოგიისა და კონსერვაციული ბიოლოგიის ინსტიტუტის მიერ (პროფ. გ. გრაბჰერის ხელმძღვანელობით) წამოყენებული იქნა კონცეფცია - მაღალმთაში მცენარეთა მრავალფეროვნების შესწავლის შესახებ ჰიფსომეტრული და ეკოლოგიური გრადიენტების მიხედვით (Grabherr et al., 2000, 2001).

2000 წელს აღნიშნული პროექტი წარდგენილ იქნა შვეიცარიაში პირველ საერთაშორისო კონფერენციაზე. პირველი დაკვირვებები ამ პროგრამის ფარგლებში ჩატარდა 2001-2002 წლის ზაფხულში. შესწავლილ იქნა 13 ევროპული ქვეყნის 18 მაღალმთიანი რეგიონი (მათ შორის, კავკასიიდან მხოლოდ საქართველო). 2004 წელს GLORIA-ს პროექტში ჩაერთნენ სხვა ქვეყნებიც და ამ წელს უკვე 24 მაღალმთიან რეგიონში ჩატარდა კვლევა. 2005 წელს იუნესკოსთან თანამშრომლობის შედეგად გაიზარდა პროექტში მონაწილე ქვეყნების რიცხვი და მან მიიღო უკვე გლობალური ხასიათი (GLORIA-WORLDWIDE). 2006 წელს უკვე 5 კონტინენტის 47 ქვეყანაში მიმდინარეობდა მაღალმთის მცენარეთა მრავალფეროვნებაზე მონიტორინგი. მომდევნო აღწერა ევროპის მასშტაბით GLORIA-ს პროექტის ფარგლებში ჩატარდა 2008 წელს. ეს მონაცემები ამჟამად დამუშავების და პუბლიკაციის პროცესშია. 2015 წელს ჩატარდება მონიტორინგის მორიგი ეტაპი.

ბიომებს შორის მაღალმთა ყველაზე სენსიტიურია კლიმატის ცვლილების მიმართ და ყველაზე კარგად ასახავს ამ ცვლილებების შედეგებს (Grabherr et al., 1994; Körner, 2013). მიზეზი რამდენიმეა:

1. მაღალმთის ბიომი უნიკალურია სხვადასხვა გეოგრაფიულ სარტყელში და სხვადასხვა სიმაღლეზე; მოიცავს რა ყველა სასიცოცხლო ზონას, მცირე

ფართობზეც კი კარდინალურად განსხვავებული კლიმატური და ედაფური პირობებია შექმნილი (Walter, 1985);

2. მაღალმთა "ცხელ წერტილად" არის მიჩნეული მაღალი ენდემიზმის გამო (Hedberg, 1969; Pawlowski, 1970; Grabherr, 2009), ამიტომ კლიმატის ცვლილებით გამოწვეული პოტენციური დანაკარგები (გენეტიკური ეროზიის რისკი) უფრო მნიშვნელოვანია;
3. მაღალმთის ეკოსისტემები შედარებით მარტივია, განსაკუთრებით დიდ სიმაღლეზე, სადაც უმთავრესად მოქმედებს აბიოტური ფაქტორები. ბიოტური ფაქტორების მოქმედება სიმაღლის მატებასთან ერთად მცირდება. ამიტომ ეს ეკოსისტემები უფრო მგრძნობიარეა კლიმატის ცვლილების მიმართ (Körner, 1994, 2013);
4. მაღალმთაში ანთროპოგენული ფაქტორი უფრო ამძაფრებს კლიმატის ცვლილებით გამოწვეულ შედეგებს (Körner, 2014).

GLORIA-ს პროექტის ძირითადი ამოცანები ასე შეიძლება ჩამოყალიბდეს (Grabherr et al., 2000, 2001):

1. შეგროვდეს სტანდარტული რაოდენობრივი მაჩვენებლები სახეობათა სიმდიდრის, პროექციული დაფარულობის და სტრუქტურის შესახებ სხვადასხვა ექსპოზიციაზე ჰიფსომეტრული გრადიენტის მიხედვით;
2. შეფასდეს მცენარეული მრავალფეროვნების ცვლილების შესაძლო რისკები (მოპოვებული მასალის საფუძველზე) ვერტიკალური და ჰორიზონტალური გრადიენტების მიხედვით;
3. განხორციელდეს ხანგრძლივი დაკვირვება, რადგან მცენარეთა მრავალფეროვნების ცვლილება და მცენარეთა მიგრაციის გზები შეიძლება გამოვლინდეს 5-20 წლის შუალედში მაშინ, როცა მცენარეული საფარის მთლიანი სტრუქტურის შეცვლის პროგნოზირება შესაძლებელია მხოლოდ 20-50 წლის ინტერვალში.

როგორც უკვე ავღნიშნეთ, GLORIA-ს პროექტი 2001 წლიდან საქართველოშიც მიმდინარეობს და პირველი შედეგები უკვე გამოქვეყნებულია (იხ. გვ. 22).

სხადასხვა ქვეყნის მაღალმთას ბევრი საერთო აქვს, ამიტომ განსაკუთრებით აქტუალურია მსოფლიო მასშტაბით მეცნიერთა თანამშრომლობა მოპოვებული მასალის შედარების ურთიერთგაცვლისა და მოქმედების საერთო გეგმის დასახვის მიზნით.

#### **1.4 კლიმატის ცვლილება კავკასიაში**

კლიმატის მიმდინარე ცვლილება საქართველოში უკვე თვალნათლივ შეინიშნება და გამოიხატება მრავალ ასპექტში („საქართველოს 1-ლი ეროვნული შეტყობინება კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისათვის“, 1998; „საქართველოს მე-2 ეროვნული შეტყობინება კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისათვის“, 2009). ასე, მაგალითად, დღეისათვის კავკასიონზე აღრიცხული 2033 დიდი და მცირე მყინვარის საერთო ფართობი უკვე 32-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე 2500 წელთან შედარებით. უკანასკნელი 70-80 წლის განმავლობაში შეიმჩნევა კავკასიონის ქედის სამხრეთი ფერდობების მყინვარების სისტემური უკანდახევა და მისი ტემპიც (საშუალოდ 1.5 მ/წელიწადში) ისეთივეა, როგორც ევროპის ალპებში. მყინვარების საერთო ფართობი 1881-1976 წლებში 796 კმ<sup>2</sup>-ით შემცირდა. ეს პროცესი ამჟამად უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს. თბილისში ზაფხულში ანომალური ტემპერატურები აღინიშნა 1913, 1938, 1957, 1961, 1998, 2000 და 2006 წლებში, თუმცა 41-43°C ჰაერის ტემპერატურამ მხოლოდ 2006 წელს მიაღწია, რაც ნორმიდან 4-5°C-ით გადახრას ნიშნავს (წინა პერიოდებში ნორმიდან გადახრა 2-3°C-ს არ აღემატებოდა). მთაში, მაგალითად, მდ. ცხენისწყლის აუზში ღვარცოფების აქტივაცია ბოლო 50-60 წლის განმავლობაში 4-ჯერ გაიზარდა, ხოლო რაჭაში უკანასკნელ პერიოდში 43%-ით მოიმატა დამეწყრილ ტერიტორიათა რაოდენობამ.

კლიმატის ცვლილება საქართველოში, როგორც სხვა პოლიკლიმატურ ქვეყნებსა და რეგიონებში, არაერთგვაროვანი იქნება („საქართველოს 1-ლი ეროვნული შეტყობინება კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისათვის“, 1998; „საქართველოს მე-2 ეროვნული შეტყობინება კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისათვის“, 2009), რასაც ხელს შეუწყობს შავი ზღვის ფაქტორი და ქედების კონფიგურაცია. შავი ზღვის ერთ-ერთი ცირკულაციური პროცესის შედეგად წყლის

ნაკადს ზღვის ქვედა ფენებიდან ამოაქვს ცივი წყალი („აპფელინგი“), რაც ხმელეთთან წყლის ტემპერატურის შემცირებას იწვევს. გლობალური დათბობა ამ პროცესს გააქტიურებს: ნაპირებთან სულ უფრო მეტი ცივი წყალი ამოვა სიღმიდან. ეს კი ხმელეთის მიმდებარე ტერიტორიებზე ტემპერატურის შემცირებას გამოიწვევს. გაციებული ჰაერის აღმოსავლეთისკენ გადაადგილებას ლიხის ქედი უშლის ხელს. ამიტომ დასავლეთ საქართველოს დაბლობში მოსალოდნელია აცივება, ხოლო აღმოსავლეთში - დათბობა.

საქართველოში კლიმატის მომავალი ცვლილების სცენარის აგებისას გამოყენებულ იქნა ოთხი მოდელით (PRECIS, HadAM3P, ECHAM4, MAGICC/SCENGEN) გამოთვლილი საშუალო მონაცემები. კლიმატის ცვლილების სცენარების შეჯერებით როგორც დასავლეთ, ისე აღმოსავლეთ საქართველოში 2100 წლისთვის საშუალო წლიური ტემპერატურის  $3-5^{\circ}\text{C}$ -ით ტემპერატურის მატებას თან ერთვის ნალექების წლიური ჯამის 9-13%-იანი კლება და ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის 6%-იანი შემცირება. პროცესი განსაკუთრებით მწვავე ხასიათს ზაფხულის პერიოდში მიიღებს, სადაც ტემპერატურის მატების და ნალექების კლების ტენდენციაც გაცილებით მკვეთრად იქნება გამოხატული, ვიდრე წლის სხვა პერიოდებში. თითქმის 30%-ით გაიზრდება გვალვიანი პერიოდების ხანგრძლივობა. მდინარეთა წყლის ჩამონადენის 9%-ით კლებაა მოსალოდნელი. ეს პარამეტრი მკვეთრად გაიზრდება ზაფხულში და 41%-ს მიაღწევს („საქართველოს მე-2 ეროვნული შეტყობინება კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისათვის“, 2009).

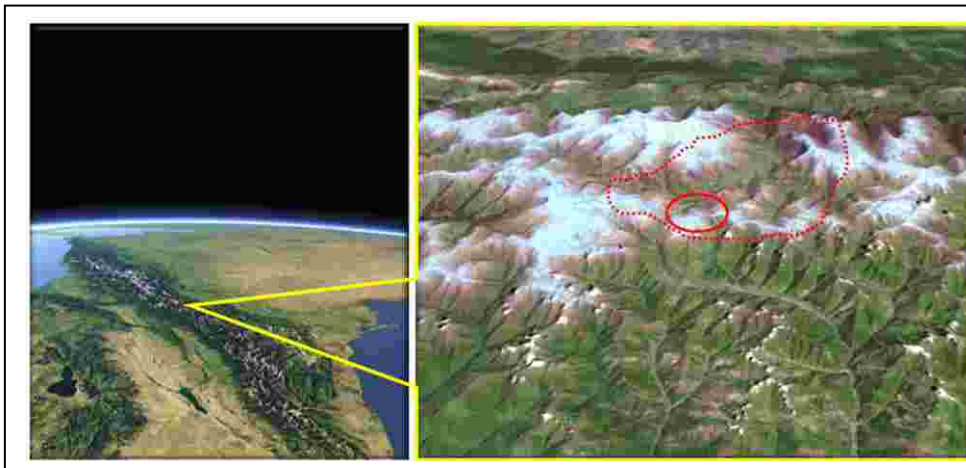
მთელ კავკასიაში ალპურ-ნივალური სარტყელი შენარჩუნდება დიდი კავკასიონის მხოლოდ ცენტრალურ ნაწილში (სვანეთი, რაჭა, ხევი). სუბნივალური სარტყელი 2900-2950 მ-ის ნაცვლად დაიწყება 3600-3650 მ-დან და საგრძნობლად შევიწროვდება. 1800 მ-ის სიმაღლეზე თოვლის საფარის ხანგრძლივობა ნაცვლად 6 თვისა მხოლოდ 3-3.5 თვე იქნება. ასეთი ცვლილებები, რა თქმა უნდა, მცენარეულობის მკვეთრ ტრანსფორმაციას გამოიწვევს (Nakhutsrishvili et al., 2004a, b; 2009; Akhalkatsi et al., 2006).

## თავი 2. კვლევის რეგიონის მოკლე დახასიათება

### 2.1 მდებარეობა

ცენტრალური კავკასიონი დიდი კავკასიონის ის მონაკვეთია, რომელიც იალბუზისა და მყინვარწყვერის მთების მერიდიანებს შორის მდებარეობს (დას.-ით მისი საზღვრები გადის მდ. ყუბანის ზედა წელზე, მდ.-ების ნენსკრასა და ენგურის გასწვრივ სოფ. ჯვრამდე, ხოლო აღმ.-ით – მდ. თერგის გაყოლებაზე) და ქმნის კავკასიონის მთიანეთის ყველაზე მაღალ, განიერ და გეომორფოლოგიურად რთულ ნაწილს (მარუაშვილი, 1969).

საკვლევი ტერიტორია, რომლის ძირითადი ნაწილი მოიცავს ჯვრის უღ.-სა და სოფ. გუდაურის მიდამოებს, ადმინისტრაციულად შედის ყაზბეგის რეგიონის შემადგენლობაში (სურ. 1). განსხვავებით მისი უდიდესი ნაწილისგან, რომელიც დიდი კავკასიონის ჩრდ. მაკროფერდობზე მდებარეობს, გუდაურის რეგიონი მთავარი წყალგამყოფი ქედის სამხრეთ მაკროფერდობზეა. სამონიტორინგო ოთხი ნაკვეთიდან მხოლოდ ერთია მთავარი წყალგამყოფი ქედის ჩრდ. მაკროფერდობზე - სოფ. კობსა და ჯვრის უღ. შორის. რეგიონის ფართობი 1081.7 კმ<sup>2</sup>-ია.



სურ. 1. კავკასია, დიდი კავკასიონი, ცენტრალური კავკასიონი, ყაზბეგის რეგიონი (პუნქტირით), გუდაურის მიდამოები (უწყვეტი ხაზით)

### 2.2 ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობები

ყაზბეგის რეგიონი რთული ტექტონიკური ბუნებით ხასიათდება. რელიეფის ძირითადი მორფომეტრიული და მორფოლოგიური ერთეულები ტექტონიკური და

მძლავრი ეროზიულ-აკუმულაციური პროცესების ურთიერთქმედებით არის შექმნილი. ძალიან ფართოდ გავრცელებულია ვულკანური ფორმები, რომლებიც პლიოცენ-პლეისტოცენურ და ჰოლოცენურ პერიოდს მიეკუთვნებიან. განსხვავებით ყაზბეგის რეგიონის დიდი ნაწილისგან, გუდაურის რაონში არ გვხვდება იურული ქანები. რელიეფის სახეს ქმნიან შიშველი, წვეტიანი, კლდოვანთხემიანი ქედები და მათ შორის მოქცეული ეროზიულ-ტექტონიკური წარმოშობის ვიწრო ხეობები. ტოპოგრაფიული ზედაპირი ძლიერ დანაწევრებულია. აღსანიშნავია, რომ ყაზბეგის რეგიონის ყველაზე მაღალი მწვერვალები (4000 მ-ზე მეტი სიმაღლის), მათ შორის, მყინვარწვერი (5033 მ ზღ. დ-დან), მდებარეობენ არა მთავარ წყალგამყოფ, არამედ გვერდით ქედზე. ჯვრის უღ. (2395 მ ზღ. დ.) მიმდებარე მწვერვალები სიმაღლით 3800 მ-ს არ აღემატებიან. რეგიონის მდინარეების სათავეებში მნიშვნელოვანი როლი მეოთხეულ მყინვარებს შეუსრულებია, რის შედეგადაც გაჩენილია ტროგები, ცირკები და მორენები (Maryashvili, 1971; Nakhutsrishvili, 1974; აბდალაძე და სხვ., 1998; Nakhutsrishvili et al., 2005).

## **2.3 ნიადაგები**

ყაზბეგის რეგიონში შემდეგი სახის ძირითადი ნიადაგური საფარია განვითარებული: მთა-ტყე-მდელოს და მთა-მდელოს, რომლებიც აერთიანებენ სხვადასხვა ტიპის, ქვეტიპისა და გვარის 10-ზე მეტ ნაირსახეობას (საბაშვილი, 1965; Nakhutsrishvili, 1971; ურუშაძე, 1997).

## **2.4 კლიმატი**

ყაზბეგის რეგიონის ტერიტორიაზე კლიმატის თავისებურებანი განპირობებულია: მაღალი ჰიფსომეტრული სიმაღლით, რთული მორფოლოგიითა და დიდი კავკასიონის ჩრდილოეთ მაკროფერდობზე მდებარეობით (Kordzhakhia, 1961; Nakhutsrishvili, 2003; Nakhutsrishvili et al., 2005).

ზოგადად, რეგიონის კლიმატი ხასიათდება გრილი მოკლე ზაფხულით და ხანგრძლივი სუსხიანი ზამთრით. ჯვრის უღ.-ის მეტეოსადგურის (2395 მ ზღ. დ.) მრავალწლიანი მონაცემების თანახმად, ჰაერის საშუალო ტემპერატურა 0.3°C-ია. აბსოლუტური მაქსიმუმი 27°C-ია; ივლის-აგვისტოს საშუალო ტემპერატურა 12°C აღწევს, ხოლო ყველაზე ცივი თვის - იანვრის - მინუს 11°C. აბსოლუტური მინიმუმი მინუს 35°C-ია. დღეების რაოდენობა დადებითი ტემპერატურით წელიწადში 118-ია. თოვლის საფარის ხანგრძლივობა 7 თვემდეა და მაქსიმალურ სიღრმეს (150-200 სმ) მარტში აღწევს (ცხრ.1)

ჩრდილოეთის ექსპოზიციის რელიეფის დებრესიებში თოვლი მთელი ზაფხულის განმავლობაში რჩება. სავეგეტაციო სეზონის ხანგრძლივობა 120-130 დღეს აღწევს. ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა საშუალოდ 75%-ია.

ცხრილი 1. ყაზბეგის რეგიონის კლიმატური პირობების დახასიათება.

| მცენარეული<br>სარტყელი         | სიმაღლე<br>ზღ. დ.-<br>დან (მ) | კლიმატის<br>ტიპი     | ზაფხული                       | ზამთარი                        | თბილის<br>თვეების<br>(ივლისი-<br>აგვისტო)<br>ტემპ. (°C) |       | ცივი<br>თვეების<br>(იანვარი-<br>თებერვალი)<br>ტემპ. (°C) |      | თოვლის<br>საფარის<br>ხანგრ-<br>ძლივობა<br>(თვე) | თოვლის<br>საფარის<br>მაქს.<br>სიმაღლე<br>(სმ) | ნალექების<br>საშ.<br>წლიური<br>რაოდ.<br>(მმ) | სხვა ინფორმაცია                                                                                                                  |
|--------------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                |                               |                      |                               |                                | საშ.                                                    | მაქს. | მინ.                                                     | საშ. |                                                 |                                               |                                              |                                                                                                                                  |
| მთის ტყის<br>ზედა<br>სუბალპური | 1500-1900                     | ზომიერად<br>მშრალი   | ხანმოკლე<br>და გრილი          | შედარებით<br>მშრალი და<br>ცივი | 14-18                                                   | 33    | -28                                                      | -5   | 3-5                                             | ±80                                           | 780-800                                      | ჰაერის ტენიანობა<br>ზაფხულში იორეკრ<br>მეტია, ვიდრე<br>ზამთარში; აგვისტოში<br>უღრუბლო ცხელი<br>დღეები 70%-ია და<br>ხშირია გვალვა |
| სუბალპური;<br>ალპური           | 1900-2600                     | ზომიერად<br>ნესტიანი | ხანმოკლე<br>და გრილი          | შედარებით<br>მშრალი და<br>ცივი | 10-14                                                   | 33    | -30                                                      | -11  | 5-7                                             | 115-120<br>მარტში                             | 1000-1500                                    | ნისლიანი დღეების<br>რაოდენობა წელიწადში<br>135-ია; ხშირია ქარები                                                                 |
| ალპური;<br>სუბნი-<br>ვალური    | 2600-3400                     | ზომიერად<br>მშრალი   | რეალური<br>ზაფხული<br>არ არის | მკაცრი და<br>ხანგრძლივი        | 10                                                      | 31    | -30                                                      | -12  | 7-8                                             | ±200                                          | 800-1000                                     | ზაფხულში ხშირია<br>დილის წყინეები;<br>ამინდი ხშირად<br>გვალვადობს დღის<br>განმავლობაში; ხშირია<br>ქარები                         |
| სუბნი-<br>ვალური;<br>ნივალური  | >3400                         | ზომიერად<br>ნესტიანი | ზაფხული<br>არ არის            | მუდმივი<br>თოვლი და<br>ყინული  | 2.2                                                     | 15    | -33                                                      | -14  | 12                                              | >200                                          | 1000-1200                                    | ქარიშხლიანი დღეების<br>რიცხვი ყოველთვიურად<br>12-ია; ნალექიანი<br>(თოვლი) დღეების<br>რიცხვი წელიწადში 170-<br>ია                 |

ნალექების საშუალო წლიური რაოდენობა 1450 მმ-ია, რაც მნიშვნელოვნად აღემატება ყაზბეგის რეგიონის დანარჩენ ნაწილში (სიმაღლეების იგივე ინტერვალში) ნალექების წლიურ რაოდენობას (765 მმ). ნისლიანი დღეების რაოდენობა დიდია და

წელიწადში 135-ს აღწევს. გაბატონებულია მთა-ხეობის ტიპის ქარები. ამინდი დღის განმავლობაში სწრაფად და ხშირად ცვალებადობს.

უფრო მაღალ სიმაღლეებზე (2800-3200 მ ზღ. დ.) კლიმატი ტენიანია, თითქმის ზაფხულის გარეშე. იანვარ-თებერვლის საშუალო ტემპერატურა მინუს 14°C აღწევს, ხოლო ივლის-აგვისტოსი - 10°C. თოვლის საფარის ხანგრძლივობა 7-8 თვეა და 200 სმ სიღრმისაა. გაბატონებულია დასავლეთის ძლიერი ქარები.

## ***2.5 რეგიონის მცენარეული საფარის მოკლე დახასიათება***

საქართველოს მაღალმთის მცენარეულობა მეტად მრავალფეროვანია, რაც განპირობებულია კავკასიის მთების ევროპისა და აზიის შესაყარზე მდებარეობით, კლიმატის კონტრასტულობით და რელიეფის ძლიერი დანაწევრებით (კეცხოველი, 1935, 1959; Гроссгейм, 1948; Харадзе, 1960; Джанелидзе, Маргалитадзе, 1977; Долуханов, 1966a,b; Dolukhanov, 1978; Tumajanov, 1980; Nakhutsrishvili, 1999, 2000, 2003, 2013; Nakhutsrishvili et al., 2004a, b, 2005, 2006 და სხვ.). ქვემოთ მოცემული ანალიზი აღნიშნულ შრომათა მიხედვით არის წარმოდგენილი.

რეგიონის ფლორისა და მცენარეულობის დიდი მრავალფეროვნება აღნიშნულია მრავალ ნაშრომში: Харадзе (1965 b), Долуханов (1966 a,b), Нахуцришвили (1974, 1988), Dolukhanov (1978), Ketskhoveri et al. (1975), Sakhokia, Kutsishvili (1975), სახოკია (1983), Нахуцришвили, Гамцелидзе (1984), Ivanishvili (1998), Zazanashvili et al., (1995); Nakhutsrishvili (1998, 1999, 2003, 2013); ნახუცრიშვილი (2000), Nakhutsrishvili et al. (2005, 2006) და სხვ. ხაზგასმულია, რომ ეს მრავალფეროვნება განპირობებულია რთული და დანაწევრებული რელიეფით, განსხვავებული ლანდშაფტებითა და სუბსტრატით, მიკროკლიმატის ნაირგვარობით. ჩვენს მიერ რეგიონის ფლორისა და მცენარეულობის მოკლე დახასიათება მოცემულია ზემოთაღნიშნული ავტორების მიხედვით და ყურადღება გამახვილებულია გუდაურის მთის მცენარეულ საფარზე.

მცენარეული სარტყლებიდან გვხვდება: მთის ტყის (1000-1500 მ ზღ. დ.), მთის ტყის ზედა (1500 - 1700-1750 მ ზღ. დ.), სუბალპური (1700-1750 – 2450-2500 მ ზღ. დ.),

ალპური (2450-2500 – 2950-3000 მ ზღ. დ.), სუბნივალური (2950-3000 – 3550-3600 მ ზღ. დ.) და ნივალური (> 3600 მ ზღ. დ.).

ყაზბეგის რეგიონის ფლორა ჭურჭლოვან მცენარეთა 1100 სახეობაზე მეტს ითვლის (Sakhokia, Kutsishvili, 1975), რაც საქართველოში გავრცელებულ მცენარეთა (დაახლოებით 4100 სახეობა; (Gagnidze, 2005)) თითქმის 27%-ს შეადგენს. რეგიონი მდიდარია კავკასიის ენდემური სახეობებითა და ენდემური გვარებით, მათ შორის მონოტიპური. ფლორის მრავალფეროვნებას ხაზს უსვამს, აგრეთვე 11 კავკასიური ენდემური გვარიდან 6-ის არსებობა (Nakhutsrishvili, 1998,1999, 2013; გაგნიძე 2000).

მთის ტყის ზედა სარტყელი მხოლოდ დარიალისა და ხდის ხეობებში, აგრეთვე გუდაურის რეგიონში - სოფ. მლეთასა და ქუმლისციხეს შორის გვხვდება. ამ ტყეებს ქმნიან: *Fagus orientalis*, *Quercus macranthera*, *Sorbus caucasigena*, აგრეთვე ტირიფის სახეობები, თხილი, სხვადასხვა ბუჩქები და სხვ.

წიწვოვანი ტყე, რომელსაც *Pinus kochiana* ქმნის, გუდაურის რეგიონში წარმოდგენილი არ არის. ის მხოლოდ ყაზბეგის რეგიონის ჩრდილოეთ ნაწილში - დარიალის ხეობაში მიუდგომელ კლდეებზეა განვითარებული.

სუბალპური არყნარი ტყე (*Betula litwinowii*, *B. raddeana*, *B. pendula*, *Sorbus caucasigena*, *Salix caprea*, *S. kuznetzowii*, *S. apoda*, *S. Kazbekensis* და სხვ.) მრავალსაუკუნოვანი მძლავრი ანთროპოგენული ზემოქმედების შედეგად ძლიერ გაჩანაგებულია და ჩრდილოეთის ექსპოზიციის ფერდობებზე მხოლოდ ფრაგმენტების სახითაა შემორჩენილი. ტყის ზედა საზღვართან, თოვლის მძლავრი დაწოლის გამო, ამ ტყეს ტანბრეცილი ფორმა “Krummholz” აქვს მიღებული. გუდაურის რეგიონში (სამხრეთ მაკროფერდობზე) არყნარი ტყე არ გვხვდება. მისი მცირე დერივატები მხოლოდ ჩრდილოეთ მაკროფერდობზე ჯვრის უღ. მიდამოებშია შემორჩენილი.

განსაკუთრებით უნდა გამოიყოს სუბალპური სარტყლის ტყის ზედა საზღვრის მცენარეულობა, რომელიც გამოირჩევა ფლორისტული და ფიტოცენოზური მრავალფეროვნებით, ენდემური და რელიქტური სახეობების სიუხვით. აქ გვხვდება: ტანბრეცილი ტყე, განრთხმული ბუჩქნარი, მაღალბალახეულობის ელემენტები, ფართოფოთლოვანი და მკვრივკორდიანი მდელოები.

რეგიონის თითქმის ყველა ხეობაში უხვთოვლიან ჩრდილოეთის ექსპოზიციის და მრავალფეროვანი ინკლინაციის (15-75°) ფერდობებზე, ზღ. დ-დან 1900-2900 მ-ის ფარგლებში განვითარებულია ნახევრადგართხმული ვეგეტატიურად მოძრავი ღეროების მქონე მარადმწვანე ბუჩქის, მესამეული რელიქტის - დეკას (*Rhododendron caucasicum*) ხშირ შემთხვევაში გაუვალი (პროექციული დაფარულობა 90-100%) რაყები. დეკა მკვეთრად გამოხატული ხიონოფიტია, თვით ამ ეკოსისტემის სტაბილურობა და არსებობა დამოკიდებულია თოვლის საფარის სიმძლავრეზე და ხანგრძლივობაზე. დამახასიათებელი სახეობებიდან აღსანიშნავია ბუჩქები: *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *Empetrum hermaphroditum*, *Daphne glomerata*, აგრეთვე ბალახოვანი მცენარეები: *Anemone fasciculata*, *Calamagrostis arundinacea*, *Pyrola minor*, *P. rotundifolia*, *Stachys macrantha* და სხვ. დეკიანების ფლორისტული შემადგენლობა ღარიბია (სახეობათა რიცხვი 25-27-ს არ აღემატება). გუდაურის რეგიონში დეკიანები მხოლოდ ჩრდილოეთის ექსპოზიციის მაკროფერდობზეა განვითარებული, ხოლო სამხრეთ მაკროფერდობზე მცირედ დახრილ რელიეფზე (5-15°) და 1900-2250 მ-ის ინტერვალში გვხვდება მესამეული რელიქტი *Rhododendron luteum*-ის მიერ შექმნილი ფოთოლმცვენი ბუჩქნარი, ის ტყის პირებზე და ტყეებში იზრდება, ხოლო ნატყევარ ადგილებში ხშირ რაყებს ქმნის.

ტყის ზედა საზღვრის ეკოტონი (გარდამავალი არე სუბალპურ ტყესა და მის ზემოთ მდებარე მდელოებს შორის) ერთ-ერთი ყველაზე მგრძნობიარეა კლიმატის ცვლილებისადმი. ამასთან, სწორედ ამ მცენარეულობას აქვს განსაკუთრებული ეკოლოგიური მნიშვნელობა: ზვავ-, მეწყერ- და ღვარცოფსაწინააღმდეგო ფუნქციები; სუფთა მტკნარი წყლის ყველაზე დიდი ბუნებრივი რეზერვუარი; მდინარეებში წყლის რეჟიმის რეგულაცია.

ღვიაანი თანასაზოგადოებები (*Juniperus communis*-ის დომინირებით), განსხვავებით ყაზბეგის რეგიონის სხვა ტერიტორიებისა, გუდაურის მიდამოებში არ არის წარმოდგენილი.

გუდაურის მიდამოებში არ არის წარმოდგენილი ტყის ზედა საზღვრის ეკოტონისთვის დამახასიათებელი სუბალპური მაღალბალახეულობა (*Aconitum*,

*Cicebrita, Delphinium, Heracleum, Senecio* და სხვა გვარების წარმომადგენლები), რომელიც ყაზბეგის რეგიონის სხვა ადგილებში მხოლოდ ფრაგმენტულად გვხვდება,

სახეობებით მდიდარ (40-50 და მეტი) სუბალპური მდელოს (1750-2500 მ ზღ. დ.) მცენარეულობაში გვხვდება ფაშარკორდიანი პარკოსან-ნაირბალახოვან-მარცვლოვანი და მკვრივკორდიანი ნაირბალახოვან-მარცვლოვანი თანასაზოგადოებები. ყველაზე ხშირია მდელოს მცენარეულობის ისეთი ფორმაციები, როგორიცაა: Bromopsieto-Agrostideta (*Bromopsis variegata, Agrostis planifolia, A. tenuis*) - უმნიშვნელოდ დამრეც სამხრეთის ექსპოზიციის ფერდობებზე; Calamagrostideta (*Calamagrostis arundinacea*) - ჩრდილო-დასავლეთის ფერდობებზე და ტყის პირებზე; Hordeta (*Hordeum violaceum*-Herbae mixta) - გავაკეხულ რელიეფზე და უმნიშვნელო ინკლინაციის (2-12°-მდე) მქონე ფერდობებზე, გამოტანის კონუსებზე; Festuceta (*Festuca varia, Carex meinshauseniana*) - ჩრდილო-დასავლეთის და სამხრეთ-დასავლეთის დამრეც (30-45°) ქვალორდიან ფერდობებზე; Festuceta (*F. rupicola, F. ovina, F. valesiaca*) - ყველაზე ქსეროფილურ ფერდობებზე და ქვალორდიან ნიადაგებზე; Bromopsieto-Helictotrichoneta (*Bromopsis variegata, Helictotrichon asiaticus*) - ქსეროფილურ სამხრეთის ფერდობებზე; Bromopsieto-Festuceta (*Bromopsis biebersteinii, Festuca varia*) - სამხრეთის და სამხრეთ-დასავლეთის ექსპოზიციის ფერდობებზე; Astragaleto-Bromopsieta (*Astragalus captiosus, Bromopsis variegata*) - სამხრეთის ექსპოზიციის მშრალ და ეროზირებულ დამრეც ფერდობებზე; Bromopsieto-Triseteta (*Bromopsis riparia, Trisetum flavescens*) - სამხრეთისა და სამხრეთ-აღმოსავლეთის ექსპოზიციის მცირე დახრილობის მქონე ქვალორდიან ფერდობებზე; Festuceto-Koelerieta (*Festuca ovina, Koeleria luersenii*) - მშრალ ადგილებში; Nardeta (*Nardus stricta*) - საშუალოდ დამრეც და თითქმის ყველა ექსპოზიციის ფერდობებზე; Dryadeta (*Dryas caucasica*) - ჩრდილოეთის ექსპოზიციის ქვიან და ნოტიო ფერდობებზე; Deschampsieta (*Deschampsia caespitosa*) და Hordeto-Phragmiteta (*Hordeum violaceum, Phragmites australis*) - ტენიან ადგილებში; Equiseto-Phragmiteta (*Equisetum palustre, Phragmites australis*)-დაჭაობებულ ადგილებში და წყალჭარბ ტერიტორიებზე.

სუბალპური სარტყელში მეზოფილურ პირობებში ტიპურია ფართოფოთლოვანი მდელოები: *Inuleta* (*Inula orientalis*), *Trollieta* (*T. patulus*), *Anemoneta* (*A. fasciculata*), *Betoniceta* (*B. macrantha*) და სხვ.

ეკლიან-ტრაგაკანტული მცენარეულობა - *Astragaleta* (*Astragalus denudatus*) გვხვდება სამხრეთის ექსპოზიციის მშრალ კლდეებზე და ქვა-ღორღიან სუბსტრატზე, თუმცა გუდაურის რ-ში წარმოდგენილი არ არის. მისთვის დამახასიათებელია: *Oxytropis cyanea*, *Astragalus kasbek*, *Artemisia sosnowskyi*, *Stipa tirsia*, *Festuca valesiaca*, *Scutellaria leptostegia* და სხვ.

სუბალპური სარტყლისთვის დამახასიათებელია აგრეთვე მშრალი და ნოტიო კლდეების და ფიქლოვანი ნაშალის მცენარეულობა.

ალპური სარტყლის (2450-2500 – 2950-3000მ ზღ. დ.) მცენარეულობა უმთავრესად წარმოდგენილია მკვრივკორდიანი მარცვლოვანი - *Festuceta* (*Festuca varia*, *F. supina*), *Nardeta* (*Nardus stricta*), ისლიანი - *Cariceta* (*Carex tristis*) და კობრეზიანი - *Kobresieta* (*Kobresia capilliformis*, *K. persica*) თანასაზოგადოებებით. *Festuceta varia* გვხვდება მხოლოდ ციცაბო სამხრეთ ფერდობებზე, ხოლო *Festuceta supina*, *Cariceta* და *Kobresieta* - ქედების ქარიან თხემებზე და მეტ-ნაკლებად სწორი რელიეფის პირობებში. ამ მცენარეული სარტყლის ქვედა ნაწილში ტენიან, სწორ ადგილებში და სუსტად დახრილ რელიეფზე (5-10°) ინტენსიურად გამოვილ მდელოებზე ფართოდ გავრცელებულია "მეორადი ალპური ხალები", რომელთა შორის წამყვანია: *Alchemilla*-ს, *Plantago*-ს, *Sibbaldia*-ს, *Nardus*-ის, *Carex*-ის და სხვა სახეობები. "თოვლისპირა ალპური ხალები", ძირითადად, ნაირბალახებისგან შექმნილი დაჯგუფებებია, რომლებიც ვითარდება მყინვარული რელიეფის, კერძოდ კარული ცირკის პირობებში ჰორიზონტალურ რელიეფზე, სადაც ნიადაგის სოლიფლუქციური პროცესები აღინიშნება და იკვებებიან თოვლისგან ნაჟური წყლით. ეს თანასაზოგადოებები მდელოსგან ორლებნიანთა სიჭარბით განსხვავდებიან. ალპური ხალების კიდევ ერთი ნაირსახეობაა "ალპური ხალი ღორღიან სუბსტრატზე", რომელსაც შედარებით მცირე ფართობები უკავიათ მყინვარის შემდგომ ადგილებში (კარულ ცირკებში, მორენებს შორის), უმთავრესად ტენიან, სწორ ან მცირედ დაქანებულ რელიეფზე და ღორღიან ადგილებში.

გავრცელებულია ლაქებად 2600-2900 მ-ის ფარგლებში. სუბნივალური სარტყლისთვის (2950-3000 და 3600-3650მ.ზდ.დ.) დამახასიათებელია მცენარეულობის ფრაგმენტული გავრცელება კლდის ან ნაშალის ცალკეული მიკროდაჯგუფების სახით, მცენარეული საფარის სტრუქტურის გამარტივება და ხავსებისა და ლიქენების ფართო წარმომადგენლობა. მცენარეთა მიკროდაჯგუფებების ფორმირება დამოკიდებულია რელიეფის კონფიგურაციაზე, სუბსტრატზე და იმ ეკოლოგიურ პირობებზე, რომელსაც ქმნის დამკორდებელი მცენარე. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში მცენარეულ მიკროდაჯგუფებებს ნანოცენოზები ეწოდება. დამახასიათებელია მცენარეული აგრეგაციები და სემიაგრეგაციები, რომელთა შექმნაში ერთი ან რამდენიმე სახეობის პოპულაციები მონაწილეობს. დამახასიათებელია: *Saxifraga moschata*, *S. exarata* (კლდეებზე), *Delphinium caucasicum*, *Cerastium kazbek*, *Alopecurus dasyanthus* (მეტ-ნაკლებად მოძრავ ნაშალზე), *Veronica minuta*, *Scrophularia minima* (სუსტად მოძრავ ნაშალებზე), *Symphyloloma graveolens*, *Aetheopappus caucasicus*, *Arenaria lychnidea* (ქვადორდიან ადგილებში) და სხვ. ტიპიურ სუბნივალურ მცენარეებთან ერთად ამ სარტყლის ქვედა ნაწილში გვხვდება ალპური სახეობებიც. კვლევის რეგიონში (იგულისხმება ყაზბეგის რეგიონი მთლიანად) ყველაზე მაღალ ჰიფსომეტრულ სიმაღლეს (4000 მ ზდ. დ.) ორი სახეობა აღწევს: *Alopecurus dasyanthus* და *Cerastium kazbek*.

საქართველოს ალპური მცენარეულობა, კავკასიის მრავალფეროვანი ეკორეგიონის ფონზეც კი, გამოირჩევა ფლორისტული და ცენოტური სიმდიდრით. ეს, პირველ რიგში, განპირობებულია კავკასიის მთების გეოგრაფიული მდებარეობით (ევროპისა და აზიის განსხვავებული გენეზისის ფიტოლანდშაფტების შესაყარზე), რელიეფის ძლიერი დანაწევრებით, კლიმატურ-ედაფური პირობების კონტრასტულობით და სხვ. (Nakhutsrishvili, 1999, 2013). ყაზბეგის რეგიონში დიდია როგორც ფლორისტული და ბიოტოპოლოგიური მრავალფეროვნება, ისე იშვიათი, ენდემური და რელიქტური სახეობების რიცხვი (Nakhutsrishvili et al., 2005). ამასთანავე, ალპური სასიცოცხლო ზონა“ ერთ-ერთი ყველაზე საინტერესო და მნიშვნელოვანი ობიექტია გარემო პირობებთან მცენარეთა ადაპტაციის მექანიზმების შესწავლის თვალსაზრისით (ლარხერი, 2006; კიორნერი, 2008).

ყაზბეგის რეგიონი საუკუნეების მანძილზე განიცდიდა მძლავრ ანთროპოგენურ ზემოქმედებას (ტყეების გაჩეხვა, ექსტენსიური მოვება, თიბვა, სხვადასხვა მშენებლობა და კომუნიკაციების გაყვანა ეკოლოგიური ნორმების დაცვისა და აღდგენითი ღონისძიებების გატარების სრული იგნორირებით და სხვ.), რამაც გამოიწვია არა მხოლოდ ბუნებრივი მცენარეულობის სახეცვლილება, არამედ საფრთხე შეუქმნა ბევრი იშვიათი სახეობის პოპულაციას. საფრთხეში მყოფ ალპურ მცენარეთა მრავალფეროვნების, პოპულაციური სტრუქტურის, დინამიკისა და ეკოლოგიის ზოგიერთი ასპექტის შესწავლა აქტუალურია კლიმატის მიმდინარე გლობალური ცვლილების (დათბობის) ფონზე (Nakhutsrishvili et al., 2005, 2006, 2013; Dullinger et al., 2007; Erschbammer et al., 2009, 2010, 2013; Larcher, 2012; Pauli et al., 2012; Nakhutsrishvili, 2013; Körner, 2014). ამ თვალსაზრისით მნიშვნელოვანია სტენოეკური სახეობების (მცენარეები, რომლებიც მხოლოდ განსაზღვრულ ეკოლოგიურ პირობებში იზრდებიან) შესწავლა, ვინაიდან მაღალმთაში ისინი ყველაზე სენსიტურთა კატეგორიას განეკუთვნებიან. ეს სახეობები ბიოკლიმატური ინდიკატორებია და ამდენად, მათი როლი მცენარეულობაზე კლიმატის ცვლილების ზეგავლენის შეფასების საკითხში განსაკუთრებულია.

### **თავი 3. კვლევის მეთოდები**

#### **3.1 კვლევის ადგილები**

გამოკვლევები ჩატარდა გუდაურისა და ჯვრის უღ.-ის მიდამოებში (ცენტრალური კავკასიონი) საერთაშორისო სამონიტორინგო ქსელის (GLORIA-EUROPE) ფარგლებში.

კვლების ადგილები და სამონიტორინგო ნაკვეთები შერჩეულია ამ პროექტისთვის საწყის ეტაპზე (2001წ.) აპრობირებული და საერთაშორისო სამონიტორინგო ქსელში შემავალი ყველა სხვა რეგიონისთვის სტანდარტული მეთოდის შესაბამისად (Pauli et al., 1999, 2003, 2004; Grabherr, 2000a; Gottfried et al., 2012; [www.gloria.ac.at](http://www.gloria.ac.at)). საწყის ეტაპზე ეს გულისხმობს: მთათა ერთსა და იმავე

სისტემაში ერთმანეთთან მაქსიმალურად ახლოს ოთხი სხვადასხვა სიმაღლის მწვერვალის შერჩევას, რომელთაც კარგად ექნებათ გამოხატული ოთხივე გეოგრაფიული მხარე (ექსპოზიცია) და დაფარული იქნება შესაბამისი მცენარეული სარტყლისთვის (ტყის ზედა საზღვრის ეკოტონი, ქვედა ალპური, ზედა ალპური, სუბნივალური) ტიპური ბუნებრივი მცენარეულობით.

ცენტრალური კავკასიონის მთავარ წყალგამყოფ ქედზე ჯვრის უღ. მიდამოებში 2001 წ. GLORIA-ს პროექტისთვის შერჩეული ოთხი სამონიტორინგო ნაკვეთიდან (სრული ინფორმაცია იხ. ცხრ. 2) პირველი (CP1) მდებარეობს სოფ. კობის სიახლოვეს მდ. ბიდარას მარჯვენა შესართავის მარცხენა ტერასაზე, ტყის ზედა საზღვრის ეკოტონში, სადაც ტანბრეცილი არყნარი ტყე ძლიერ დეგრადირებულია და წარმოდგენილია არყის (*Betula litwinowii*) მხოლოდ ცალკეული მცირე ზომის ინდივიდებით (სურ. 2 და 3). მეორე ნაკვეთი (CP2) განლაგებულია ჯვრის უღ.-ის უმაღლესი წერტილის მაჩვენებელის სიახლოვეს ცენტრალური საავტომობილო მაგისტრალის სამხრეთით მდებარე მთაზე (სურ. 4 და 5).

ცხრილი 2. კვლევის ადგილების დახასიათება

| კვლევის ადგილი | სიმაღლე (მ ზღ. დ-დან) | გეოგრაფიული კოორდინატები    | მწვერვალის ფართობი (მ²) | მცენარეული სარტყელი        | მიწათსარგებლობის ტიპი |
|----------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------|
| CP1            | 2240                  | N 44°29'35";<br>E 42°32'33" | 1085.77                 | ტყის ზედა საზღვრის ეკოტონი | ბუნებრივი             |
| CP2            | 2477                  | N 44°27'33";<br>E 42°29'57" | 9628.81                 | ქვედა ალპური               | ყოფილი სამოვარი       |
| CP3            | 2815                  | N 44°30'04";<br>E 42°29'44" | 14974.31                | ზედა ალპური                | ყოფილი სამოვარი       |
| CP4            | 3024                  | N 44°30'36";<br>E 42°29'49" | 3429.60                 | სუბნივალური                | ბუნებრივი             |

კვლევის მესამე ადგილი (CP3) მდებარეობს გუდაურის სამთო-სათხილამურო ტრასის მიდამოებში, მეორე საბაგირო გზის ზედა სადგურის ჩრდილო-დასავლეთით

(სურ. 6 და 7). ბოლო, მეოთხე ნაკვეთია (CP4) გუდაურის სამთო-სათხილამურო ტრასის ორი უმაღლესი წერტილიდან ერთ-ერთის (მთა კუდების აღმოსავლეთი მწვერვალი) მიდამოები (სურ. 8 და 9).



სურათი 2. CP1 ნაკვეთის მწვერვალი



სურათი 3. CP1 ნაკვეთი მწვერვალზე



სურათი 4. CP2 ნაკვეთის მწვერვალი



სურათი 5. CP2 ნაკვეთი მწვერვალზე



სურათი 6. CP3 ნაკვეთის მწვერვალი



სურათი 7. CP3 ნაკვეთი  
მწვერვალზე



სურათი 8. CP4 ნაკვეთის მწვერვალი



სურათი 9. CP4 ნაკვეთი  
მწვერვალზე

თითოეული სამონიტორინგო ნაკვეთისთვის განისაზღვრა: (1) გეოგრაფიული კორდინატები და (2) სიმაღლე ზღ. დ-დან - გლობალური პოზიციური სისტემის - GPS-ის („*Etrex Summit*“, Garmin, Switzerland) მეშვეობით, რომელშიც დამოიყენება რუკა WGS 84); (3) ფერდობის ექსპოზიცია - კომპას-კლინომეტრით („*Recta DP 6*“,

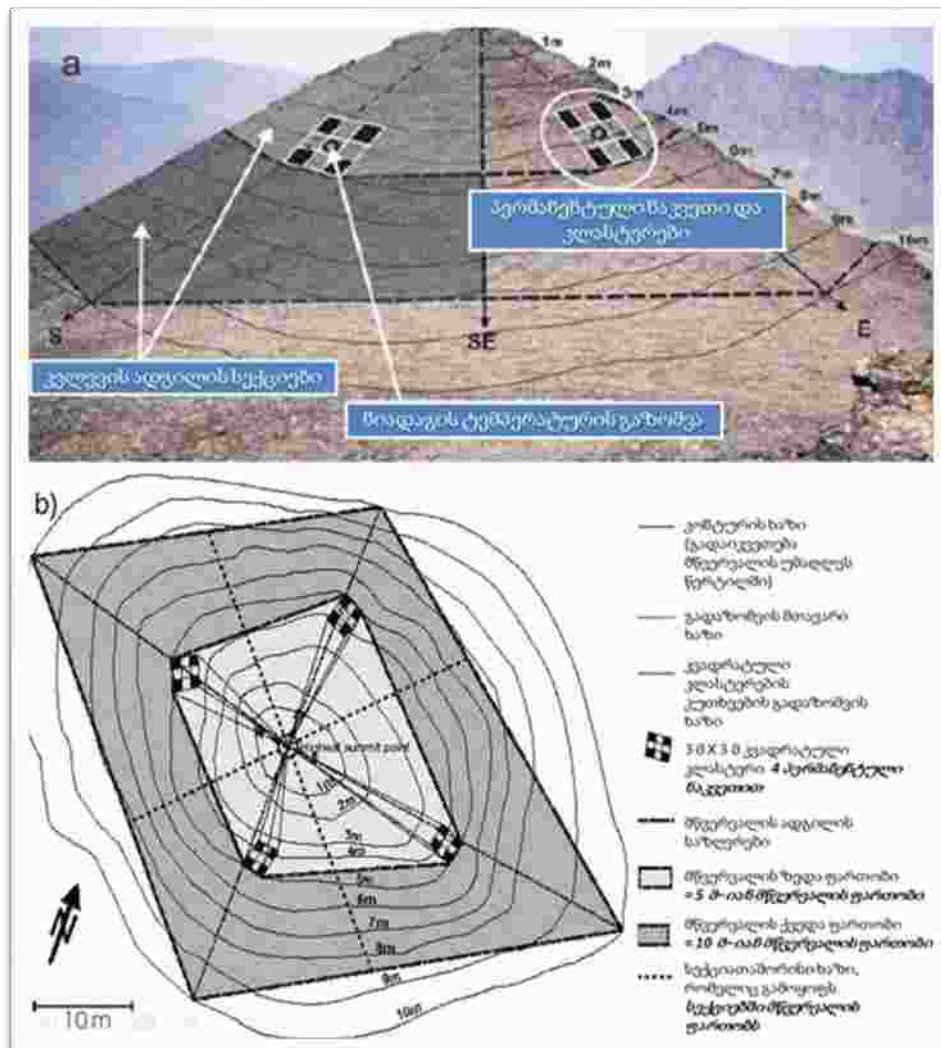
Switzerland). თითოეული შესწავლილი ფიტოცენოზი დაფიქსირდება ციფრულ ფორმატში და შექმნა შესაბამისი ფოტოარქივი.

თითოეულ კვლევის ადგილზე გამოყოფილ იქნა სამონიტორინგო ნაკვეთები (Pauli et al., 2004, 2014) კვლევის ადგილის უმაღლესი წერტილიდან ოთხივე გეოგრაფიული მხარის მიმართულებით (N, E, S, W) გადაიზომა 5 მ და შეიქმნა სამონიტორინგო სექტორები (სურ. 9), სადაც დაფიქსირდა მცენარეულობის აღწერის ადგილები – 3 X 3 მ-იანი პერმანენტული კვადრატები. თითოეული ასეთი კვადრატი დაყოფილ იქნა 9 ნაწილად ანუ კლასტერად (თითოეულის ფართობით 1 მ²). მცენარეულობის აღწერა ხდებოდა ასეთი ბადის ოთხ განაპირა ფართობზე: 1.1, 1.3, 3.1, 3.3 (სურ. 10, 11), ანუ ერთ ექსპოზიციაზე აღიწერებოდა პერმანენტული 4 სამონიტორინგო ნაკვეთი. სულ მცენარეულობის აღწერა ჩატარდა 64 საექსპერიმენტო ნაკვეთზე, რაც სრულად უზრუნველყოფს მონაცემთა რეპრეზენტატულობას და საიმედოობას.

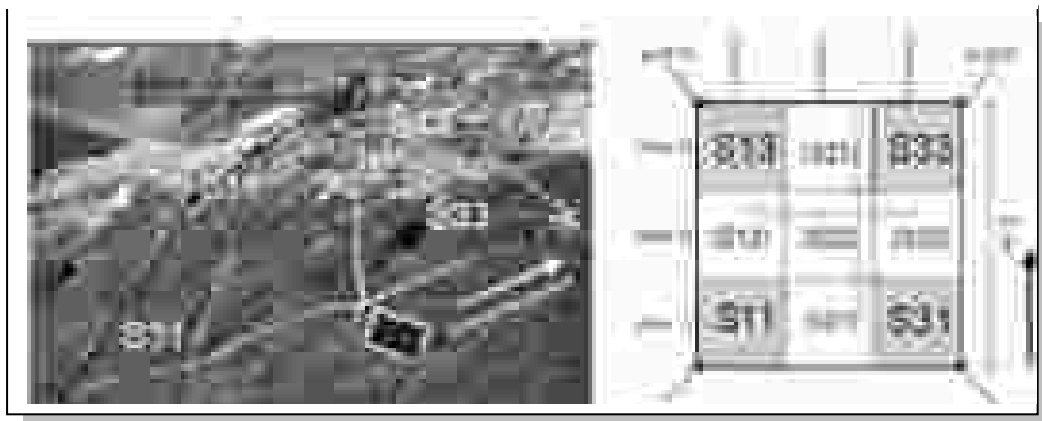
GLORIA-ს პროექტის მეთოდოლოგიურ სახელმძღვანელოს (Pauli et al., 2004, 2014; [www.gloria.ac.at](http://www.gloria.ac.at)) მიხედვით სამონიტორინგო ნაკვეთები აკმაყოფილებდნენ შემდეგ კრიტერიუმებს:

1. მდებარეობა მათათა ერთსა და იმავე სისტემაში;
2. მდებარეობა ერთმანეთთან ახლოს;
3. მდებარეობა ერთსა და იმავე ტრანსექტზე;
4. მდებარეობა სხვადასხვა მცენარეულ სარტყელში (რათა მოცემული იყოს რაგიონის მაღალმთის მცენარეულობის ყველა ტიპი - ტყის ზედა სარტყლიდან ნივალურამდე);
5. გეოგრაფიულ მხარეთა (ოთხივე ექსპოზიციის – N, E, S, W) მკაფიო გამოხატულება (რათა გათვალისწინებული იყოს მიკროკლიმატის გავლენა და მცენარეულობის კომპოზიცია);
6. სამონიტორინგო ნაკვეთების სტანდარტულობა (აუცილებელია, რომ აღწერები ჩატარდეს არა მხოლოდ ერთსა და იმავე ფართობზე, არამედ მკაცრად განსაზღვრულ ერთსა და იმავე ადგილზე, რაც უზრუნველყოფს მონაცემთა რეპრეზენტატულობას);

7. რეპრეზენტატიულობა (საექსპერიმენტო ნაკვეთების დიდი რიცხვი – 64, რაც უზრუნველყოფს სტატისტიკურ საიმედოობას);



სურათი 10. მწვერვალებისა (a) და სამონიტორინგო ნაკვეთების (b) სტანდარტული სქემა



სურათი 11. 3 x 3 მ-იანი კლასტერი ველზე (მარცხნივ) და მისი სქემა (მარჯვნივ)

### **3.2 მცენარეთა ნომენკლატურა, იდენტიფიკაცია და სასიცოცხლო ფორმები**

მცენარეთა სახეობების იდენტიფიცირება მოხდა „საქართველოს მცენარეების სარკვევის“ I (1964) და II ტომების (1969) და „საქართველოს ფლორის“ I-XV ტომების (1970–2009) მიხედვით. მცენარეთა ნომენკლატურა მოცემულია მ.სახოკიასა და ე.ხუციშვილის (Sakhokia, Khutsishvili, 1975) მიხედვით. სახეობათა ნომენკლატურა შეესაბამება საერთაშორისო ნომენკლატურას ([www.eu-nomen.eu/portal/search.php](http://www.eu-nomen.eu/portal/search.php); [www.theplantlist.org](http://www.theplantlist.org).) საჭიროების შემთხვევაში გამოყენებულ იქნა თბილისის ბოტანიკური ბაღისა და ბოტანიკის ინსტიტუტის და სტეფანწმინდის ალპური ეკოლოგიის ინსტიტუტის ჰერბარიუმში დაცული ნიმუშები.

მცენარეთა სასიცოცხლო ფორმები დადგინდა რაუნკიერის (Raunkier, 1934) და გოვერტის და სხვ. (Govaerts et al., 2000) მიხედვით.

### **3.3 მცენარეულობის პროექციული დაფარულობა და ფიტოსოციოლოგიური აღწერები**

მცენარეთა პროექციული დაფარულობა ყოველი სამონიტორინგო ნაკვეთის თითოეული პერმანენტული კვადრატისთვის შეფასდა ვიზუალური დაკვირვების მეთოდით და გამოისახა %-ში (Kennedy, Addison, 1987; Frey, Lösch, 2004; Perez-Harguindegug, 2013).

ფიტოსოციოლოგიური დაკვირვებები შესრულდა ბრაუნ-ბლანკეს სტანდარტული ტესტის შესაბამისად (Braun-Blanquet, 1964; Frey, Lösch, 2004), რის საფუძველზეც შედგა ფიტოცენოზებში სახეობათა სრული ნუსხა და დადგინდა ბრაუნ-ბლანკეს სახეობრივი სიმრავლის ინდექსები, შემდგომში ეს ინდექსები გადაყვანილ (ცხრ. 3) იქნა ცალკეულ სახეობათა %-ულ დაფარულობაში (იხ. დანართი). მცენარეული საფარის აღწერა ჩატარდა ყველა სამონიტორინგო ნაკვეთის თითოეული კლასტერისთვის ოთხივე პერმანენტულ კვადრატში. თითოეულ სახეობას საერთაშორისო სამონიტორინგო ქსელის (GLORIA-EUROPE) მიერ მინიჭებული აქვს სპეციალური კოდი.

ცხრილი 3. ბრაუნ-ბლანკეს დაფარულობის კლასის ტრანსფორმაცია პროცენტებში (%)

| ბრაუნ-ბლანკეს<br>დაფარულობის<br>კლასი | დაფარულობის<br>ფარგლები (%) | საშუალო<br>დაფარულობა<br>(%) |
|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 5                                     | 75-100                      | 87.5                         |
| 4                                     | 50-72                       | 62.5                         |
| 3                                     | 25-50                       | 37.5                         |
| 2                                     | 2-25                        | 15.0                         |
| 1                                     | 1-5                         | 2.5                          |
| +                                     | <1                          | 0.1                          |
| ++                                    | <<1                         | –                            |

### 3.4 მცენარეთა მრავალფეროვნება, ევენესი და ჟაკარდის ინდექსი

სახეობრივი მრავალფეროვნება მცენარეული თანასაზოგადოების მნიშვნელოვანი მახასიათებელია. ის გულისხმობს სახეობის რიცხვს მოცემულ ტერიტორიაზე და მის ფარდობით სიმრავლეს, რომელიც წარმოდგენილია სახეობის სიმრავლითა და მრავალფეროვნებით.

მრავალფეროვნების შეფასებისას განხილულ უნდა იქნეს სახეობის სიმდიდრე. სახეობის სიმდიდრე ეს არის თანასაზოგადოებაში ფართობის ერთეულზე ( $1\text{მ}^2$ ) არსებული სახეობების საერთო რიცხვი. მისი განსაზღვრა ხდება ბადის საშუალებით, (გათვალისწინებული უნდა იყოს ცხოველთა ფეკალიებითა და დატკეპნით გამოწვეული დაზიანება). ამ ინდექსის განსაზღვრისას მხედველობაში არ მიიღება ცალკეულ ინდივიდთა რიცხვი, ასევე არ ხდება ხავსებისა და ლიქენების იდენტიფიცირება. სახეობის მრავალფეროვნების შეფასებისას გამოყენებული იქნა შენონ-ვინერის ინდექსი, რომელიც ზომავს წესრიგს (ან მოუწესრიგებლობას) მოცემული სისტემის შიგნით და გამოითვლება პროცენტული დაფარულობიდან.

მისი ტრანსფორმაცია შესაძლოა მოხდეს ბრაუნ-ბლანკეს სქემიდან. ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$H = - \sum_{i=1}^s (p_i \ln p_i) \quad (1)$$

სადაც,  $s$  = სახეობათა რაოდენობა;  $p_i$  = მოცემული  $i$  სახეობის დაფარულობის პროცენტული წილი საერთო დაფარულობაში (Krebs, 1989; Zur, 1984; Kent, Coker 1992). ამ ფორმულიდან ასევე გამოითვალა ევენესი:

$$J = \frac{H'}{H_{\max}} = \frac{\sum_{i=1}^s (p_i \ln p_i)}{\ln s} \quad (2)$$

სადაც,  $H$  = შენონ-ვინერის ინდექსი;  $H_{\max}$  = შენონ-ვინერის ინდექსის მაქსიმალური მნიშვნელობა;  $s$  = სახეობათა რაოდენობა;  $p_i$  = მოცემული  $i$  სახეობის დაფარულობის პროცენტული წილი საერთო დაფარულობაში.

სახეობათა რიცხოვნობისა და შენონ-ვინერის ინდექსის გამოითვალა თითოეული შესწავლილი ფიტოცენოზის სახეობათა ნუსხიდან.

ჟაკარდის ფლორისტული მსგავსების ინდექსის საშუალებით დადგინდა სამონიტორინგო ფართობებს შორის მსგავსების მატრიცა. ჟაკარდის ინდექსი (Kent, Coker, 1992) გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$S_J = \frac{a}{a+b+c} \quad (3)$$

სადაც  $S_J$  = ჟაკარდის კოეფიციენტი;

$a$  = სახეობათა რიცხვი ორ სამონიტორინგო ფართობზე;

$b$  = სახეობათა რიცხვი პირველ ფართობზე;

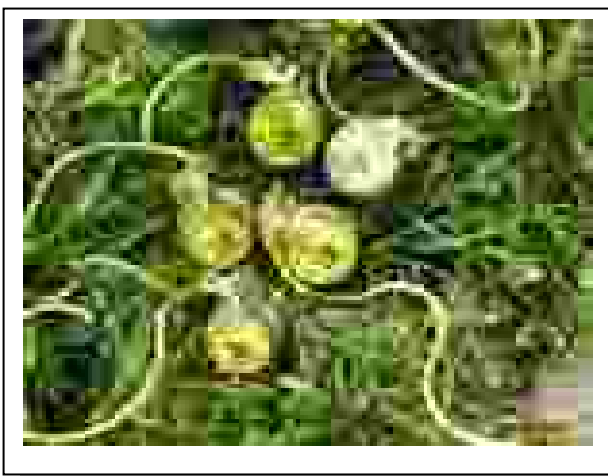
$c$  = სახეობათა რიცხვი მეორე ფართობზე.

ჟაკარდის ინდექსის მათემატიკური მნიშვნელობა მერყეობს 0-დან 1-მდე. რაც უფროა ახლოა მიღებული მნიშვნელობა 1-თან, მით მეტია ფლორისტული მსგავსება.

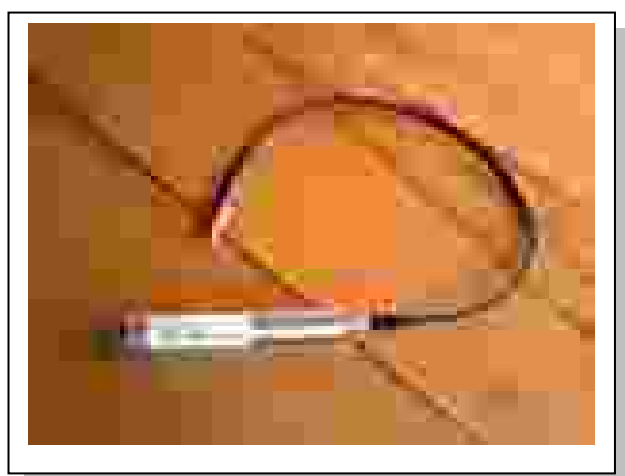
### 3.5 ტემპერატურული ლოგერების დამონტაჟება

მაღალმთის მცენარეულობა განსაკუთრებით განიცდის გლობალური დათბობით გამოწვეულ ტემპერატურისა და თოვლის საფრის ცვალებადობის

გავლენას. ნიადაგის ტემპერატურის გასაზომად, GLORIA-ს პროექტის ფარგლებში აპრობირებული მეთოდის შესაბამისად, გამოიყენებოდა მონაცემთა ავტომატური მინი-ლოგერები („Onset StowAway Tidbit“ -20/+50°C, USA ) (სურ. 12), რომლებიც მოთავსებული იყო სამონიტორინგო ნაკვეთებზე თითოეული ექსპოზიციის 3მ x 3მ კვადრატების შუაში, 10 სმ სიღმეზე (Gottfried et al., 1999). ეს ლოგერები ნიადაგის ტემპერატურას ზომავენ 1 წთ-ში ერთხელ და იმახსოვრებენ ყოველი საათის გასაშუალოებულ მონაცემს, ანუ დღის განმავლობაში თითოეული კლასტერისთვის გვაქვს 24 მონაცემი, რომლებიც თავის მხრივ 1 440 გაზომვის შედეგია. თითოეულ კლასტერში წლის განმავლობაში გროვდება 8 784 მონაცემი. სულ კვლევის ადგილისთვის წელიწადში გროვდება 140 544 მონაცემი. ლოგერების მონაცემთა აღრიცხვა და საჭიროების შემთხვევაში ლოგერების გამოცვლა ხდებოდა 5 წელიწადში ერთხელ. 2008 წლიდან აღნიშნული მინილოგერები შეიცვალა კიდევ უფრო მაღალი ტექნოლოგიებით (*GEO-Precision, USA*) (სურ. 13), რომელთაც არ ესაჭიროებათ კომპიუტერთან შესაერთებლად ნიადაგიდან ამოღება, არამედ კომპიუტერთან კავშირს ამყარებენ ნიადაგიდანვე კომპიუტერის დაახლოებით 20 მ-ში მიახლოების შემთხვევაში (ეს გარემოება იცავს კლასტერებს დაზიანებისგან). ახალი მინილოგერები ნაცვლად 5 წლისა ავტომატურ რეჟიმში მუშაობენ უკვე 10 წლის განმავლობაში. ტემპერატურული მონაცემების საშუალებით გამოვითვალეთ GDD (growing degree day) ინდექსი (Molau and Mølgaard, 1996). GDD გამოთვლისას განისაზღვრა ის პერიოდი, როცა ნიადაგის ტემპერატურა 2°C მეტი იყო.



სურ.12 ტემპერატურის მინილოგერები „Onset StowAway Tidbit“



სურ.13 ტემპერატურული მინილოგერი „GEO-Precision“

### 3.6 სახეობათა რანგი, მცენარეულობის თერმული ინდიკატორი (S) და თერმოფილიზაციის ინდექსი (D)

საერთაშორისო სამონიტორინგო ქსელის მიერ თითოეულ სახეობას მისი ბიოკლიმატური პოზიციის შესაბამისად მიენიჭა შემდეგი რანგი (Gottfried et al., 2012):

რანგი1 (AR-1) - სახეობები, რომლებიც გავრცელებულია ძირითადად ნივალურ სარტყელში.

რანგი2 (AR-2) - სახეობები, რომლებიც გავრცელებულია ალპური სარტყლიდან ნივალურ სარტყლამდე.

რანგი3 (AR-3) - სახეობები, რომლებიც გავრცელებულია ძირითადად ალპურ სარტყელში.

რანგი4 (AR-4) - სახეობები, რომლებიც გავრცელებულია ტყის ზედა სარტყლიდან ალპურ სარტყლამდე.

რანგი 5 (AR-5) - სახეობები, რომლებიც ძირითადად გვხვდება ტყის ზედა სარტყელში.

რანგი 6 (AR-6) - გავრცელებულია მთის ზონიდან ტყის ზედა საზღვრამდე.

სახეობის რანგიდან თითოეული კვადრატისთვის (სახეობის დაფარულობის პროცენტული მაჩვენებლების გათვალისწინებით) გამოითვალა „მცენარეულობის თერმული ინდიკატორი“ (S ინდექსი), რომელიც ახასიათებს კონკრეტული კვადრატის „თერმოფილურ“ თუ „კრიოფილურ“ სტატუსს (Gottfried et al., 2012). ის გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$S = \frac{\sum AR(\text{species } i) \times \text{cover}(\text{species } i)}{\sum \text{cover}(\text{species } i)} \quad (4)$$

სადაც, AR (species i) = i სახეობის რანგია; cover (species i) = i სახეობის დაფარულობა.

ამ მონაცემის გამოყენებით თითოეული კვადრატისთვის ასევე გამოითვლება თერმოფილიზაციის D ინდექსი:

$$D = S_{\text{present}} - S_{\text{historical}} \quad (5)$$

სადაც,  $S_{\text{present}} = 2008$  წელს აღებული მონაცემების შედეგად გამოთვლილი თერმული ინდიკატორი;  $S_{\text{historical}} = 2002$  წელს აღებული მონაცემების შედეგად გამოთვლილი თერმული ინდიკატორი.

D ინდექსის ცვალებადობა (მისი შემცირება ან გაზრდა) კლიმატის ცვლილების მნიშვნელოვანი მახასიათებელია (Gottfried et al., 2002).

### **3.7 სტატისტიკური ანალიზი**

ყველა მიღებულ ფაქტობრივ მონაცემზე სტატისტიკური ანალიზი ჩატარდა პროგრამა SPSS 13.0-ისა (ANOVA;  $P < 0.05$ ) და PC-ORD 5-ის საშუალებით. მონაცემთა საშუალო, მედიანა და სტანდარტული გადახრა გამოითავსა ANOVA ტესტით.  $18^2$  ფართობებზე სახეობათა სიმდიდრის შედარება 2001 და 2008 წლებში მოხდა ბინომინალური ტესტის გამოყენებით. ის სახეობები, რომლებიც 2001 წელს მხოლოდ ერთი ფართობი ეკავათ, მხედველობაში არ იქნა მიღებული. მონაცემების ნორმალური განაწილება შემოწმდა შაპირო-ვილკის (Shapiro-Wilk test) ტესტით. თუ პარამეტრები (სახეობათა დაფარულობა, სიხშირე) განაწილება არ იყო ნორმალური ვიყენებდით არა-პარამეტრულ ვილკოქსონის (Wilcoxon's signed-rank test) ტესტს. რეგრესიული ანალიზის (Regression Analysis) საშუალებით შეფასდა ტემპერატურის ცვლილება წლებისა და ექსპოზიციის მიხედვით. ასევე დადგინდა კორელაცია სახეობათა სიმდიდრესა და სხვა კლიმატურ მახასიათებლებს შორის. ინდიკატორი სახეობების გამოვლენა მოხდა PC-ORD 5 პროგრამის ინდიკატორ სახეობათა ანალიზის ტესტის (Indicator Species Analysis-ISA) საშუალებით (Dufrene and Legendre, 1997), ხოლო დომინანტი სახეობების დამოვლენა - Dominance Curve ტესტის საშუალებით. ამ ტესტის შედეგად მიღებული გრაფიკი არის 2D ფორმატის, სადაც სახეობათა მაღალი სიმრავლის რანგს შეესაბამება რიცხვი 1 და ა.შ.

### **3.8 მონაცემთა ბაზა**

კვლევის სავსე ნაწილის დასრულების შემდეგ შედგა მონაცემთა ბაზა (Excel-ის ცხრილებში), რომელიც მოიცავს: ეკოტოპოლოგიურ მონაცემებს (გეოგრაფიული

კოორდინატები, ჰიფსომეტრული სიმაღლე, ექსპოზიცია, ფერდობის ინკლინაცია), სახეობათა ნუსხებს, ფიტოსოციოლოგიური კვლევის შედეგებს, მცენარეული საფარის პროექციული დაფარულობის მაჩვენებელს და ელექტრონულ ფოტოარქივს.

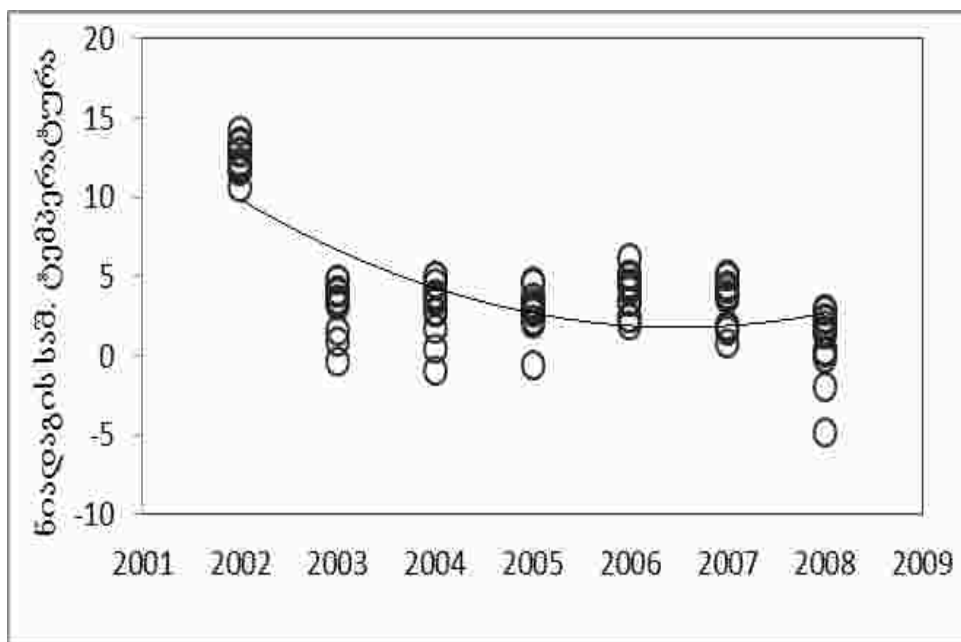
## თავი 4. შედეგები

### 4.1 ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურისა და GDD-ს ცვლილება

ნიადაგის საშუალო ტემპერატურის მონაცემების ანალიზის შედეგად გამოვლინდა, რომ ტემპერატურა ვარირებს როგორც წლების მიხედვით, ისე სხვადასხვა ჰიფსომეტრულ სიმაღლეზე. ყველაზე მაღალი საშუალო წლიური ტემპერატურა დაფიქსირდა 2002 წელს ოთხივე ექსპოზიციაზე. შემდეგ წლებში ტემპერატურამ დაიკლო და შედარებით სტაბილური გახდა. ამას მიაწინებს როგორც ჩვენს მიერ გამოყენებული ლოგერების მონაცემები ( $P < 0.001$ ) (გრაფ.1), ისე საქართველოს მასშტაბით გლობალური კვლევის შედეგები (Elizbarashvili, Elizbarashvili, 2002 a).

ქვემოთ მოცემული გრაფიკის სტატისტიკურ ცხრილში ნათლად ჩანს საშუალო ტემპერატურის ცვლილება 2002-2008 წლებში (ცხრ. 4).

გრაფიკი 1. ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურის (C°) ცვლილება 2002-2008 წლებში



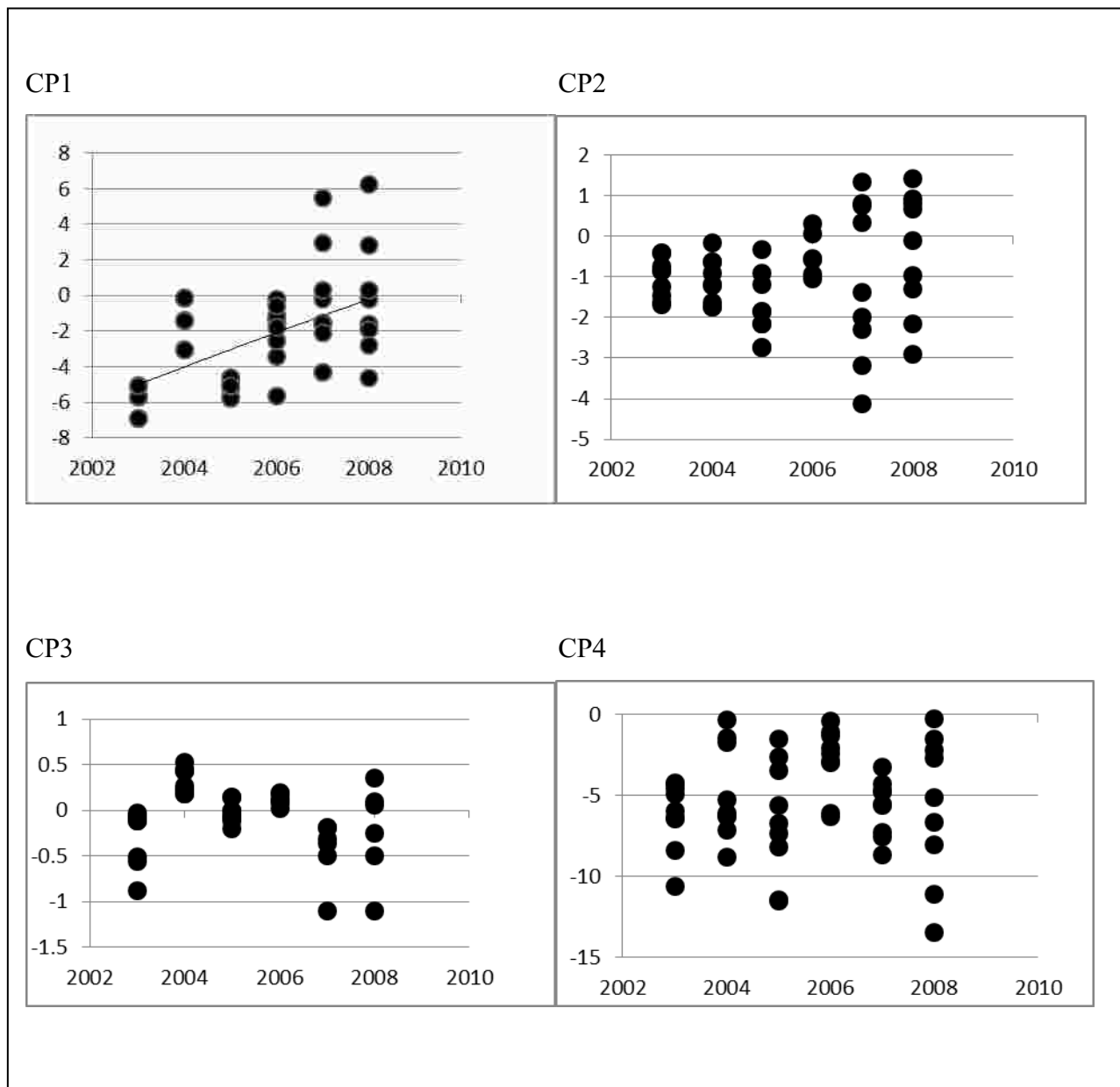
ცხრილი 4. ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურის ცვლილების სტატისტიკური ცხრილი.

| წლები | მინიმალური | მაქსიმალური | საშუალო | სტდ.გად.. | სტდ. შეცდ. |
|-------|------------|-------------|---------|-----------|------------|
|       | T°C        | T°C         |         |           |            |
| 2002  | 10.9       | 14.7        | 12.43   | 1.118     | 0.395      |
| 2003  | -0.38      | 4.86        | 2.99    | 1.639     | 0.579      |
| 2004  | -0.93      | 5           | 2.79    | 1.771     | 0.626      |
| 2005  | -0.52      | 3.64        | 2.54    | 1.313     | 0.464      |
| 2006  | 1.98       | 6.18        | 3.79    | 1.376     | 0.486      |
| 2007  | 0.82       | 5.07        | 3.14    | 1.426     | 0.504      |
| 2008  | -4.75      | 3.32        | 0.95    | 2.695     | 0.952      |

როგორც მე-4 ცხრილიდან ჩანს, მონიტორინგის პერიოდში ასევე არ მომატებულა ნიადაგის საშუალო წლიური მინიმალური ტემპერატურა, მხოლოდ CP1 მწვერვალზე აღინიშნა ამ მაჩვენებლის სარწმუნო მცირე მომატება ( $P<0.001$ ) (გრაფ. 2).

საშუალო წლიური ტემპერატურა 2002-2008 წლებში იცვლებოდა სარწმუნოდ, განსაკუთრებულად მაღალი იყო ეს მონაცემი 2002 წელს ყველა სამონიტორინგო მწვერვალზე, ხოლო ყველაზე დაბალი 2008 წელს.

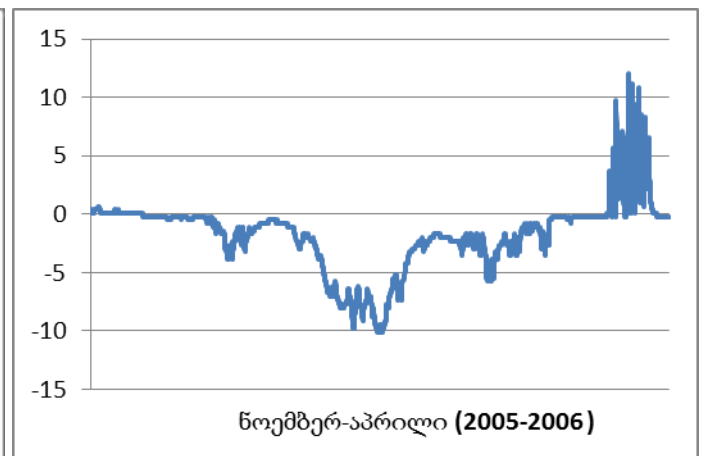
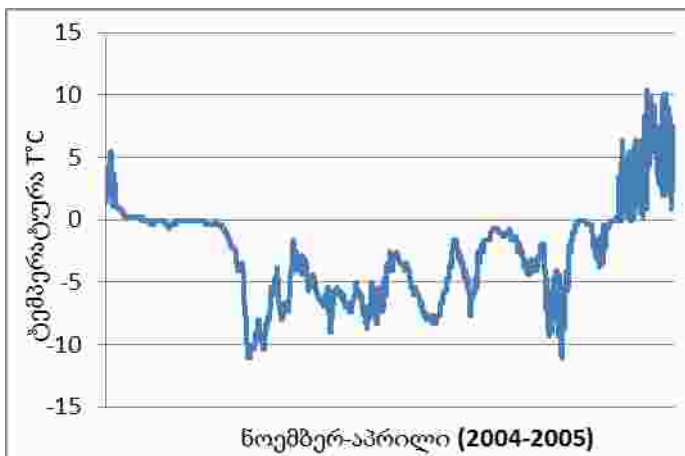
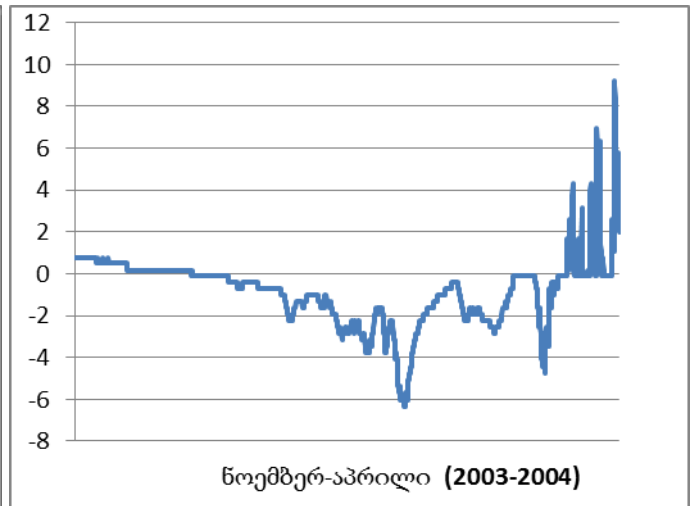
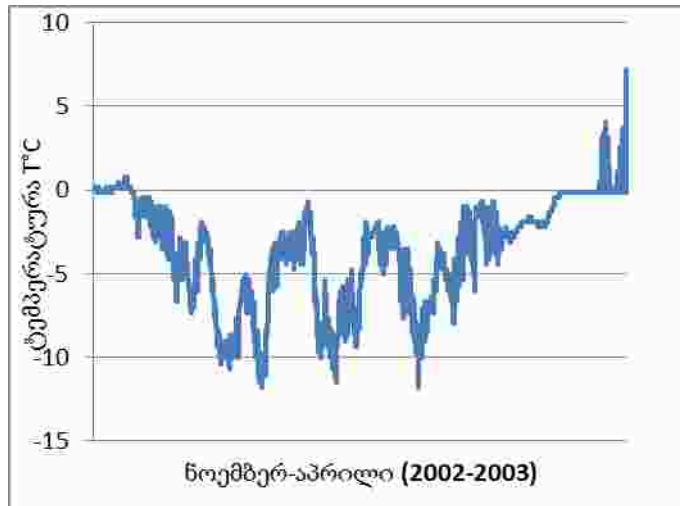
გრაფიკი 2. ნიადაგის საშუალო წლიური მინიმალური ტემპერატურის ცვლილება 2002-2008 წლებში CP1-CP4 მწვერვალებზე



CP1 მწვერვალზე ნიადაგის საშუალო მინიმალური ტემპერატურის დინამიკა კარგად ჩანს ზამთრის საშუალო თვიური ტემპერატურების ცვლილების გრაფიკზე (გრაფ.3). აღნიშნულ მწვერვალზე თოვლის საფრის ხანგრძლივობა მკვეთრად არ შემცირებულა, 2003-2004 წლის ზამთარში თოვლის საფრის ხანგრძლივობა უფრო

ხანმოკლე იყო სხვა წლებთან შედარებით. ხოლო ნიადაგის საშუალო თვიური ტემპერატურა 2002-2003 წლებში უფრო დაბალი ( $>-10^{\circ}\text{C}$ ), ვიდრე 2007-2008-ის ზამთარში.

გრაფიკი 3. ზამთრის ტემპერატურის ცვლილება 2002-2008 წლებში CP1 მწვერვალის პერმანენტულ სამონიტორინგო ნაკვეთებზე

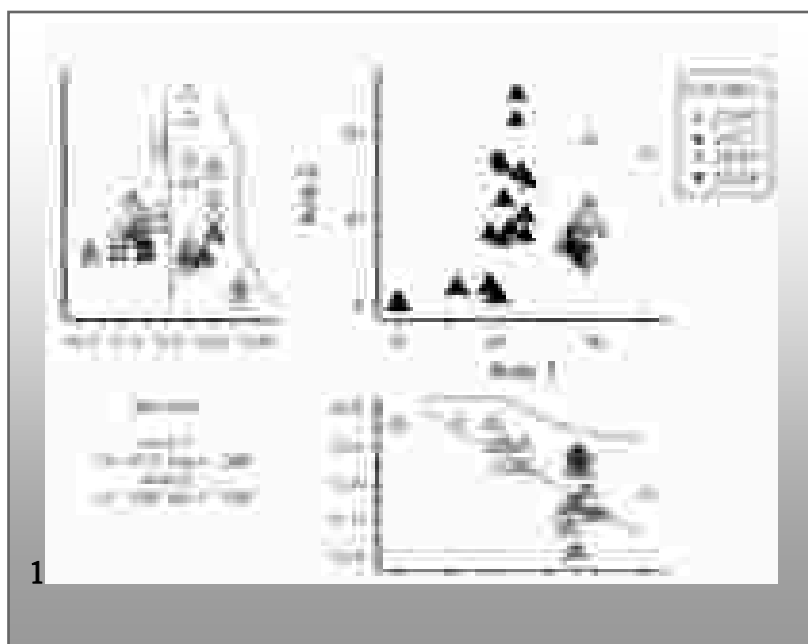


ნიადაგის საშუალო ტემპერატურების სხვაობა ყველაზე მაღალ CP4 (3024 მ.ზღ.დ.) მწვერვალსა და ყველაზე დაბალ CP1 (2240 მ. ზღ. დ) მწვერვალს შორის შეადგენდა მხოლოდ  $0.04^{\circ}\text{C}$ , ხოლო ამ მონაცემის მაქსიმალურ მნიშვნელობებს შორის სხვაობა -  $0.01$ -ს, მაშინ როცა ეს მონაცემი უფრო ცივ 2008 წელს იყო  $3.29^{\circ}\text{C}$ . (ცხრ. 5 ).

ცხრილი 5. ნიადაგის საშუალო ტემპერატურის ცვლილება სხვადასხვა ჰიფსომეტრულ სიმაღლეზე

| 2002      |         |        |             |          |           |
|-----------|---------|--------|-------------|----------|-----------|
| მწვერვალი | საშუალო | სტდ.   | სტანდ.შეცდ. | მინიმუმი | მაქსიმუმი |
| გადახრა   |         |        |             |          |           |
| CP1       | -0.884  | 0.2072 | 0.0518      | -1.00    | -0.54     |
| CP2       | 0.705   | 0.2945 | 0.0736      | 0.42     | 0.99      |
| CP3       | 0.420   | 0.0041 | 0.0004      | 0.42     | 0.42      |
| CP4       | 0.625   | 0.1859 | 0.0882      | -1.00    | -0.53     |
| 2008      |         |        |             |          |           |
| CP1       | 0.624   | 0.2679 | 0.0669      | 2.23     | 3.22      |
| CP2       | 0.783   | 0.3479 | 0.8698      | 2.52     | 2.94      |
| CP3       | 0.783   | 0.3250 | 0.0812      | 0.22     | 0.41      |
| CP4       | -0.232  | 0.8186 | 0.2047      | -4.75    | -0.07     |

გრაფიკი 4. ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურის  $T(^{\circ}C)$  ცვლილება 2002 (1) და 2008 (2) წლებში ოთხ ჰიფსომეტრულ სიმაღლეზე (Elevation- ჰიფსომეტრული სიმაღლე; კორელაციის კოეფიციენტი)





ტემპერატურის მიხედვით არ იყო სარწმუნო, ასევე არ არის სარწმუნო 2008 წელს განსხვავება CP1 და CP4 მწვერვალებს შორის მინიმალური ტემპერატურის მიხედვით (ცხრ. 6 ა, ბ). სარწმუნოების კოეფიციენტი მეტია 0.05-ზე (გამუქებული რიცხვები მე-6 ცხრილის ა და ბ ვარიანტში). რაც შეეხება უკიდურეს მწვერვალებს შორის განსხვავებას ივნისის ტემპერატურის მიხედვით, აქ მაღალია მონაცემის სარწმუნოება როგორც 2002, ისე 2008 წლებში.

ცხრილი 6. ANOVA-ს ტესტის შედეგები. მწვერვალებს შორის განსხვავება ეკოლოგიური მახასიათებლების (საშუალო წლიური ტემპერატურის (საშუალო ტ), ივნისის მინიმალური ტემპერატურის (ივნ.მინ.ტ) და წლიური მინიმალური ტემპერატურის (მინიმ.ტ.)) მიხედვით 2002 (ა) და 2008 (ბ) წელს. (sig- სარწმუნოების კოეფიციენტი.

ა)

| 2002         |     |     |             |              |              |                           |             |
|--------------|-----|-----|-------------|--------------|--------------|---------------------------|-------------|
| მწვერვალი    |     |     | საშუალო მნ. | სტანდ. შეცდ. | Sig.         | 95% სარწმუნოები ინტერვალი |             |
|              |     |     |             |              |              | ქვედა ზღვარი              | ზედა ზღვარი |
| საშუალო ტ.   | CP1 | CP2 | -2.250      | 0.196        | 0.000        | -2.64                     | -1.86       |
|              |     | CP3 | -1.750      | 0.196        | 0.000        | -2.14                     | -1.36       |
|              |     | CP4 | -0.062      | 0.196        | <b>0.751</b> | -0.45                     | 0.33        |
| ივნ. მინ. ტ. | CP1 | CP2 | -0.01750    | 0.06629      | 0.793        | -.1501                    | .1151       |
|              |     | CP3 | 0.10250     | 0.06629      | 0.127        | -.0301                    | .2351       |
|              |     | CP4 | -0.24750    | 0.06629      | 0.000        | -.3801                    | -.1149      |
| მინიმ. ტ.    | CP1 | CP2 | -8.000      | 0.946        | 0.000        | -9.89                     | -6.11       |
|              |     | CP3 | -10.250     | 0.946        | 0.000        | -12.14                    | -8.36       |
|              |     | CP4 | -0.250      | 0.946        | <b>0.793</b> | -2.14                     | 1.64        |

2008

ბ)

| მწვერვალები |     |     | საშუალო მნიშ. | სტანდ. შცდ. | Sig.         | 95% ინტერვალი |             |
|-------------|-----|-----|---------------|-------------|--------------|---------------|-------------|
|             |     |     |               |             |              | ქვედა ზღვარი  | ზედა ზღვარი |
| საშუალო ტ.  | CP1 | CP2 | 0.60312       | 0.35767     | 0.097        | -0.1123       | 1.3186      |
|             |     | CP3 | 0.70062       | 0.35767     | 0.055        | -0.0148       | 1.4161      |
|             |     | CP4 | 4.59312       | 0.35767     | 0.000        | 3.8777        | 5.3086      |
| ივნ.მინ.ტ.  | CP1 | CP2 | 0.43075       | 0.21659     | 0.051        | -0.0025       | 0.8640      |
|             |     | CP3 | 2.71600       | 0.21659     | 0.000        | 2.2828        | 3.1492      |
|             |     | CP4 | 3.03400       | 0.21659     | 0.000        | 2.6008        | 3.4672      |
| მინიმ.ტ.    | CP1 | CP2 | -0.16250      | 1.70494     | 0.924        | -3.5729       | 3.2479      |
|             |     | CP3 | -6.04000      | 1.70494     | 0.001        | -9.4504       | -2.6296     |
|             |     | CP4 | 3.25000       | 1.70494     | <b>0.061</b> | -0.1604       | 6.6604      |

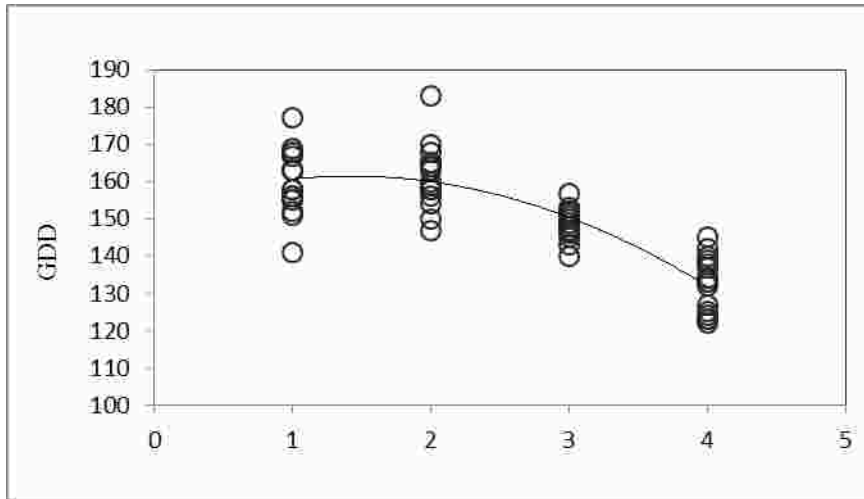
ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურები ვარირებდა როგორც წლების , ისე ექსპოზიციის მიხედვით. აღნიშნული მონაცემი განსხვავდება სამხრეთ და ჩრდილოეთ ექსპოზიციაზე, თუმცა ეს განსხვავება ნაკლებ შესამჩნევი იყო CP1 მწვერვალზე და შედარებით მეტად შესამჩნევი CP4-ზე (ცხრ. 7).

ცხრილი 7. ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურის (°C) ცვლილება 2002-2008 წლებში ჩრდილოეთ და სამხრეთ ფერდობებზე

| მწვერვალი | ექსპოზიცია | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  | 2006 | 2007 | 2008  |
|-----------|------------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| CP1       | ჩრდილოეთი  | 11.68 | 3.54  | 3.7   | 3.04  | 4.32 | 3.82 | 2.31  |
|           | სამხრეთი   | 11.68 | 3.55  | 3.63  | 3.28  | 6.18 | 1.85 | 3.2   |
| CP2       | ჩრდილოეთი  | 12.98 | 4     | 3.48  | 2.98  | 3.48 | 4.2  | 3.32  |
|           | სამხრეთი   | 14.17 | 4.86  | 5     | 3.1   | 5.1  | 5.07 | 2.94  |
| CP3       | ჩრდილოეთი  | 12.87 | 3.49  | 2.9   | 2.88  | 3.5  | 3.08 | 0.41  |
|           | სამხრეთი   | 13.36 | 3.29  | 2.78  | 2.09  | 3.45 | 3.65 | 0.52  |
| CP4       | ჩრდილოეთი  | 10.69 | -0.38 | -0.93 | -0.52 | 1.98 | 0.82 | -4.74 |
|           | სამხრეთი   | 11.28 | 1.59  | 1.74  | 2.89  | 2.38 | 1.99 | -0.07 |

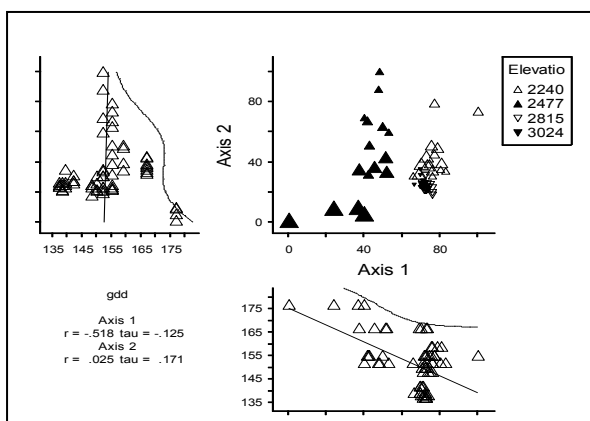
GDD ინდექსის გამოთვლისას აღინიშნა ჰიფსომეტრული სიმაღლის მიხედვით ამ მონაცემის სარწმუნო ცვლილება ( $P < 0.001$ ) (გრაფ. 6).

გრაფიკი 6. GDD ინდექსის ცვლილება ჰიფსომეტრული სიმაღლის მიხედვით. (1-CP1; 2-CP2; 3-CP3; 4-CP4)



თოვლის დნობა CP1 მწვერვალზე იწყება აპრილის დასაწყისში, სავეგეტაციო პერიოდი გრძელდება ოქტომრის ბოლომდე და მხოლოდ ნოემბერში ეცემა ტემპერატურა  $2^{\circ}\text{C}$ -ზე დაბლა. მთლიანად ეს პერიოდი CP1-ზე მოიცავს  $213.25 \pm 20.18$  დღეს. ყველაზე მაღალ მწვერვალზე (CP4) აღნიშნული პერიოდი უფრო მოკლეა -  $175.8 \pm 11.64$  დღე. GDD ინდექსის მონაცემების ანალიზი ასევე ჩატარდა PC-ORD სტატისტიკური პროგრამით. მე-7 გრაფიკზე უფრო ნათლად ჩანს GDD ცვლილება ჰიფსომეტრული სიმაღლის მიხედვით 2002 და 2007 წლებში და კორელაციის კოეფიციენტები.

გრაფიკი 7. GDD ინდექსის ცვლილება 2002 (ა) და 2007 (ბ) წელს ჰიფსომეტრული გრადიენტის მიხედვით (Elevation- ჰიფსომეტრული სიმაღლე; r-კორელაციის კოეფიციენტი)



ა



ბ

GDD-ს ინდექსი განსხვავდება ჩრდილოეთ ( $146 \pm 2.78$ ) და სამხრეთ ფერდობებზე ( $154 \pm 3.48$ ). მე-8 ცხრილიდან ჩანს, რომ ჩრდილოეთ ექსპოზიციაზე GDD უფრო ნაკლებია, ვიდრე თბილ ფერდობებზე (C1, C2, C3 -ის სამხრეთ და C4-ის აღმოსავლეთ ექსპოზიციებზე).

ცხრილი 8. GDD-ის ინდექსის ცვლილება ჩრდილოეთ და სამხრეთ ფერდობებზე 2002-2007 წლებში

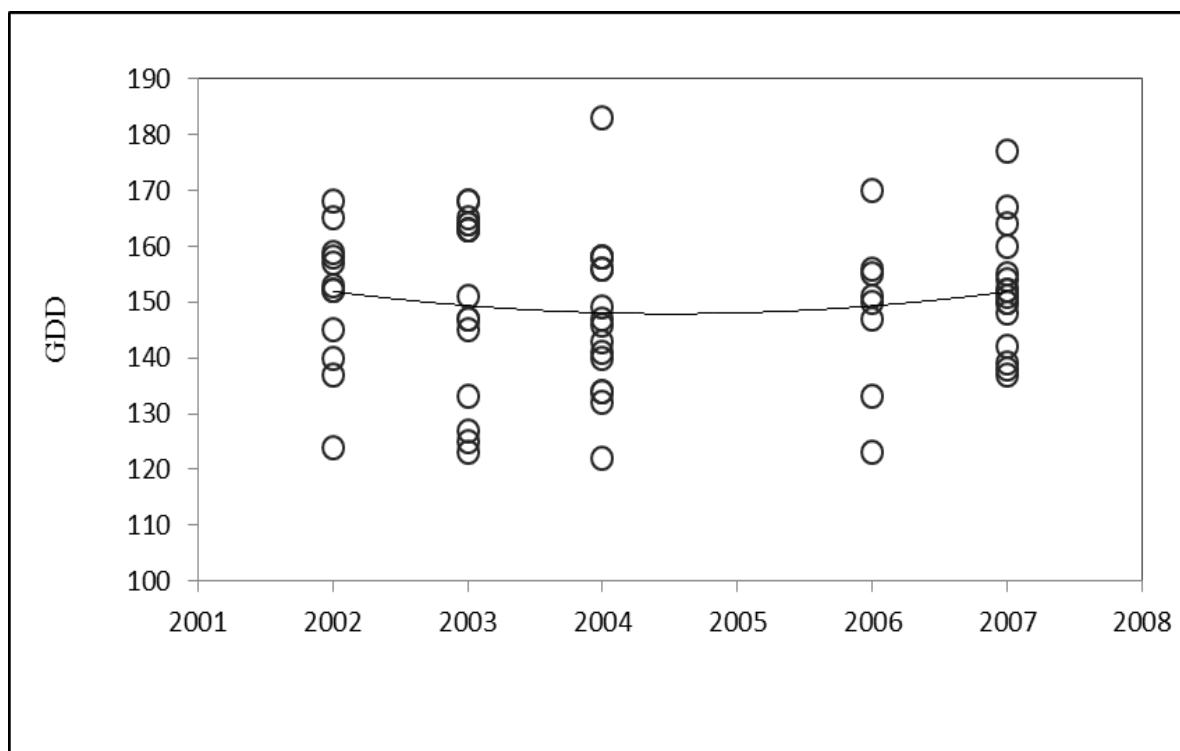
| მწვერვალი | ექსპოზიცია | 2002 | 2003 | 2004 | 2006 | 2007 |
|-----------|------------|------|------|------|------|------|
| CP1       | ჩრდილოეთი  | 163  | 163  | 141  | 151  | 152  |
|           | სამხრეთი   | 169  | 168  | 158  | 155  | 155  |
| CP2       | ჩრდილოეთი  | 158  | 163  | 147  | 156  | 152  |
|           | სამხრეთი   | 168  | 165  | 183  | 170  | 177  |
| CP3       | ჩრდილოეთი  | 153  | 145  | 146  | 147  | 148  |
|           | სამხრეთი   | 157  | 147  | 149  | 150  | 150  |
| CP4       | ჩრდილოეთი  | 140  | 125  | 122  | 123  | 138  |
|           | სამხრეთი   | 137  | 127  | 132  | 133  | 142  |

GDD-ს ინდექსი 2002-2007 წლებში სარწმუნოდ იცვლებოდა ( $t = 0.21$ ,  $df = 13$ ,  $P < 0.001$ ), თუმცა არ აღინიშნა ზრდის ტენდენცია. ეს ნათლად ჩანს სტატისტიკური ცხრილიდან. (ცხრ. 9) და ორდინაციული გრაფიკიდან (გრაფ. 8).

ცხრილი 9. 2002-2008 წლებში GDD ცვლილების სტატისტიკური ცხრილი.

|      | საშ.    | სტ.გად. | სტ.შეც | t    | d | საშუალო<br>f განსხვავება | 95%<br>სარწმუნოების<br>ინტერვალი |        | P      |
|------|---------|---------|--------|------|---|--------------------------|----------------------------------|--------|--------|
|      |         |         |        |      |   |                          | დაბალი                           | მაღალი |        |
|      |         |         |        |      |   |                          |                                  |        |        |
| 2002 | 1.556E2 | 11.913  | 4.208  | 36.9 | 7 | 155.62                   | 145.67                           | 165.57 | 0.001  |
| 2003 | 1.503E2 | 17.212  | 6.085  | 24.7 | 7 | 150.37                   | 135.98                           | 164.76 | 0.001  |
| 2004 | 1.147E2 | 18.156  | 6.419  | 22.9 | 7 | 147.25                   | 132.07                           | 162.42 | <0.001 |
| 2006 | 1.148E2 | 14.456  | 5.107  | 29.0 | 7 | 148.12                   | 136.04                           | 160.20 | 0.002  |
| 2007 | 1.151E2 | 11.656  | 4.117  | 36.8 | 7 | 151.75                   | 142.01                           | 161.48 | 0.001  |

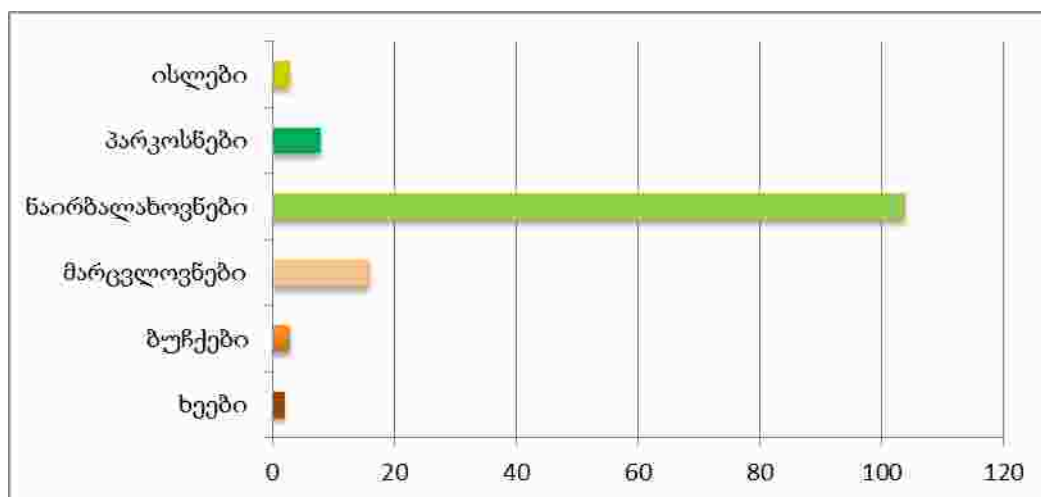
გრაფიკი 8. GDD-ს ინდექსის ცვლილება 2002-2007 წლებში



## 5.2 სამონიტორინგო ნაკვეთების ფლორისტული შემადგენლობა, სახეობათა რანგი და სასიცოცხლო ფორმები

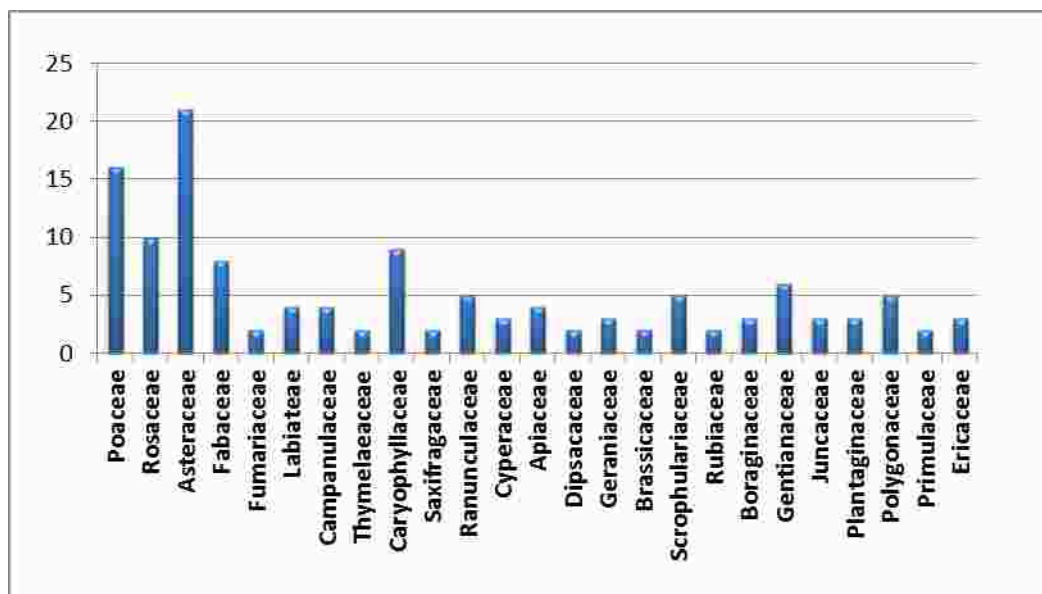
ფლორისტული აღწერები ჩატარდა 2001 და 2008 წელს ოთხივე სამონიტორინგო მწვერვალზე (CP1, CP2, CP3, CP4). პირველი აღწერისას დაფიქსირდა ჭურჭლოვან მცენარეთა 138 სახეობა, რომლებიც მიეკუთვნებიან 32 ოჯახს. პროცენტულად დომინირებენ ნაირბალახოვნები და მარცვლოვნები. რამდენიმე ან მხოლოდ ერთი სახეობებით არიან წარმოდგენილი პარკოსნები, ისლები და ბუჩქები (გრაფ. 9). მათ შორის ორლებნიანები 86.4%-ია, ხოლო ერთლებნიანები - 13.6%.

გრაფიკი 9. სამონიტორინგო ფართობებზე სახეობათა სხვადასხვა ფუნქციური ჯგუფის პროცენტული განაწილება



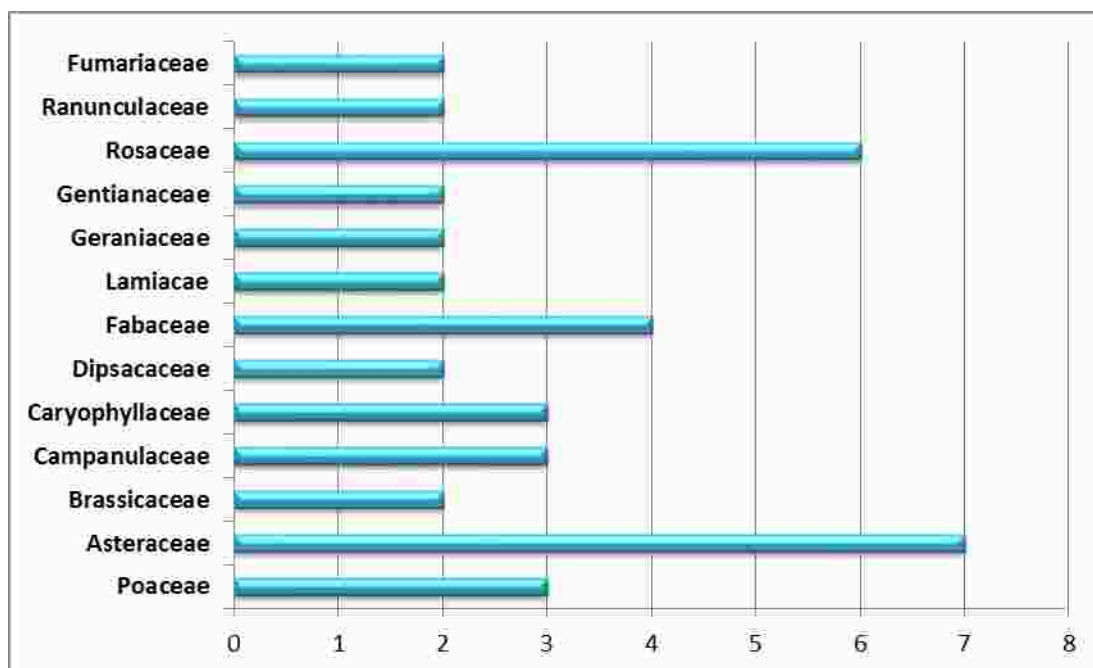
ყველაზე მეტი სახეობებით წარმოდგენილია ოჯახები: Asteraceae (21 სახეობა) და Poaceae (16 სახეობა). მხოლოდ ერთ სახეობა გვხვდება აღწერებში შემდეგი ოჯახებიდან: Betulaceae, Crassulaceae, Empetraceae, Liliaceae, Orchidaceae, Salicaceae, Valerianaceae (გრაფ. 10).

გრაფიკი 10. აღწერილი სახეობების განაწილება ოჯახების მიხედვით



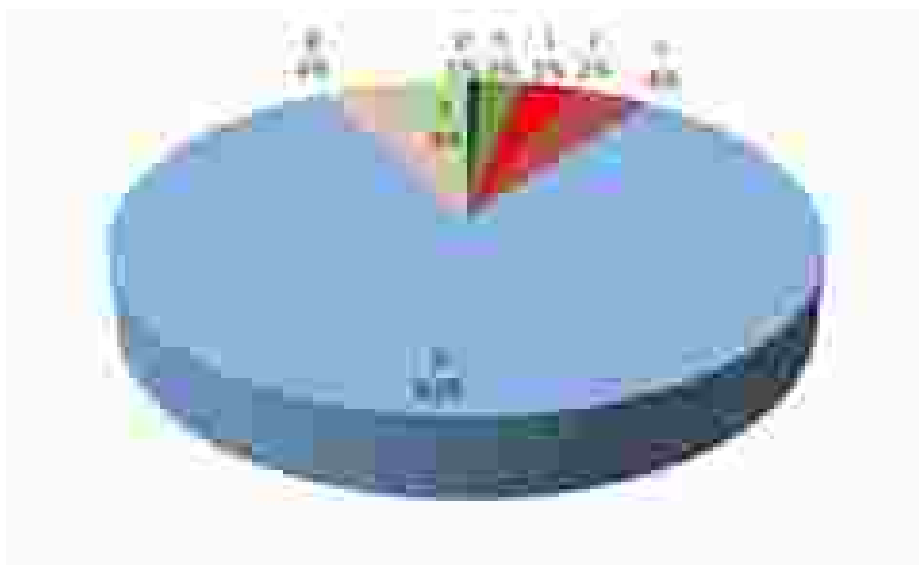
138 სახებიდან 51 სახეობა კავკასიის ენდემია (36.7 %). ყველაზე მეტი კავკასიის ენდემით წარმოდგენილია ოჯახები - Asteraceae და Rosaceae (გრაფ.11).

გრაფიკი 11. ენდემური სახეობების განაწილება ოჯახების მიხედვით



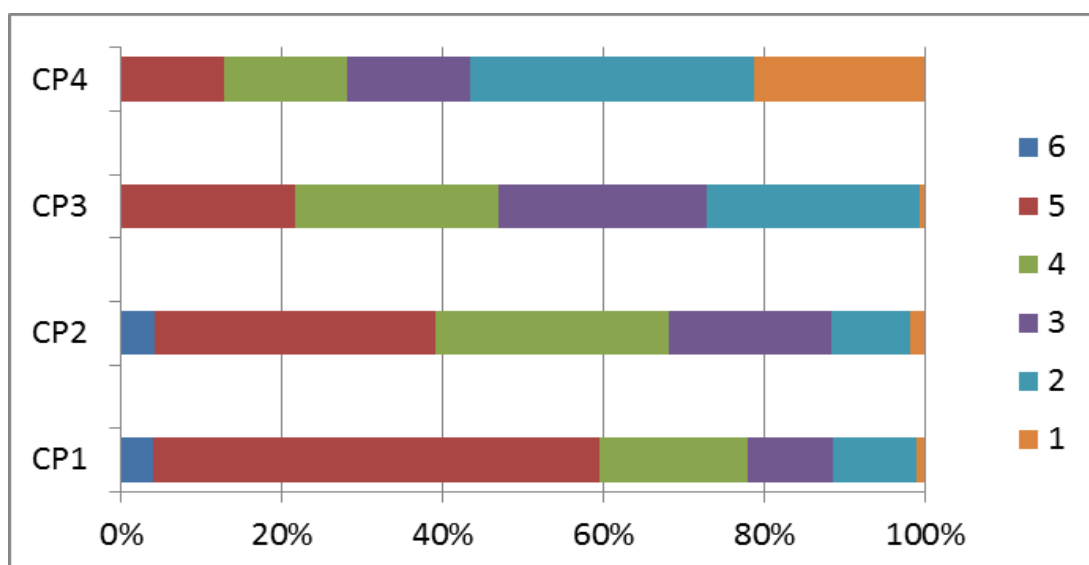
ოთხივე მწვერვალზე დაფიქსირებულ სახეობებს შორის აშკარად დომინირებენ ჰემიკრიპტოფიტები (82%). მცირე პროცენტითაა წარმოდგენილი ისეთი სასიცოცხლო ფორმები, როგორიცაა: მერქნიანი ხამეფიტები (2%), ბალახოვანი გეოფიტები (4%) და ტეროფიტები (4%) (გრაფ. 12).

გრაფიკი 12. სახეობათა სასიცოცხლო ფორმების პროცენტული განაწილება CP1-CP4 მწვერვალზე. (**p**-ზაფხულმწვანე ფანეროფიტები, **n**-ზაფხულმწვანე ნანოფანეროფიტები, **j**-ზამთარმწვანე ნანეროფიტები, **z**-მერქნიანი ხამეფიტები, **c**-ბალახოვანი ხამეფიტები, **h**-ჰემიკრიპტოფიტები, **g**-გეოფიტები, **t**-ტეროფიტები)



CP1-CP4 მწვერვალეებზე სხვადასხვა რანგის მცენარეთა პროცენტული განაწილება მოცემულია მე-13 გრაფიკზე. ქვედა სიმაღლეზე, რა თქმა უნდა, მაღალია ტყის ზედა საზღვრის მცენარეების პროცენტული წილი. სამონიტორინგო ნაკვეთების სრული ფლორისტული სია სინონიმებისა და ენდემურობის აღნიშვნით მოცემულია დანართ 1 -ში.

გრაფიკი 13. სხვადასხვა რანგის მცენარეთა პროცენტული განაწილება (1-ნივალური, 2-სუბნივალური, 3-ალპური, 4-ტყის ზედა საზღვრიდან-ალპურამდე, 5-ტყის ზედა საზღვრის, 6-მთის-ტყის ზედა საზღვრამდე)



მონიტორინგის პერიოდში, 2008 წელს მხოლოდ მთის-ტყის ზედა საზღვრის მცენარეების (რანგი-5) სიხშირე გაიზარდა სარწმუნოდ (ცხრ. 10)

ცხრილი 10. მცენარეთა რანგის სიხშირის ცვლილება 2001-2008 წლებში ცენტრალურ კავკასიონზე ( $P < 0.05$ , ↑- გაზრდა, ↓-შემცირება, z-სტანდარტული გადახრის ინდექსი)

| რანგი | ტენდენცია | z     | P            |
|-------|-----------|-------|--------------|
| 1     | ↓         | 0.899 | 0.217        |
| 2     | ↑         | 0.574 | 0.542        |
| 3     | ↑         | 0.167 | 0.753        |
| 4     | ↑         | 1.892 | 0.058        |
| 5     | ↑         | 2.561 | <b>0.012</b> |
| 6     | ↑         | 1.732 | 0.162        |

### 4.3. სახეობათა სიმდიდრე, მრავალფეროვნება და დაფარულობა

#### 4.3.1 სახეობათა სიმდიდრის ცვლილება

ცენტრალური კავკასიონის სამონიტორინგო ნაკვეთებზე 2001 წელს სახეობათა სიმდიდრე უფრო მაღალი იყო CP1 და CP2 მწვერვალებზე, ვიდრე მაღალ ჰიფსომეტრულ სიმაღლეზე (CP3, CP4) (ცხრ.11). 2008 წელს განმეორებითი აღრიცხვისას სახეობათა სიმდიდრე გაიზარდა როგორც ყველა მწვერვალზე, ისე საშუალოდ 1მ<sup>2</sup> ფართობებზეც.

2008 წელს განმეორებითი აღრიცხვისას დაფიქსირდა 15 „ახალი“ სახეობა, რომლებიც არ შეგვხვდნენ წინა აღრიცხვისას 2001 წელს. მხოლოდ ოთხი სახეობა არ იქნა განმეორებით აღმოჩენილი: ორი სახეობა CP2 მწვერვალზე - *Alchemilla chlorosericea* და *Euphrasia minima* და ასევე ორი CP3 -ზე: *Alchemilla sericata* და *Anthoxantum odoratum* (ცხრ. 11, 12).

ცხრილი 11. სახეობათა სიმდიდრე ოთხ მწვერვალზე, 1მ<sup>2</sup> ფართობებზე (საშუალო და სტანდარტული გადახრა). „ახალი“ და „დაკარგული“ სახეობების რაოდენობა

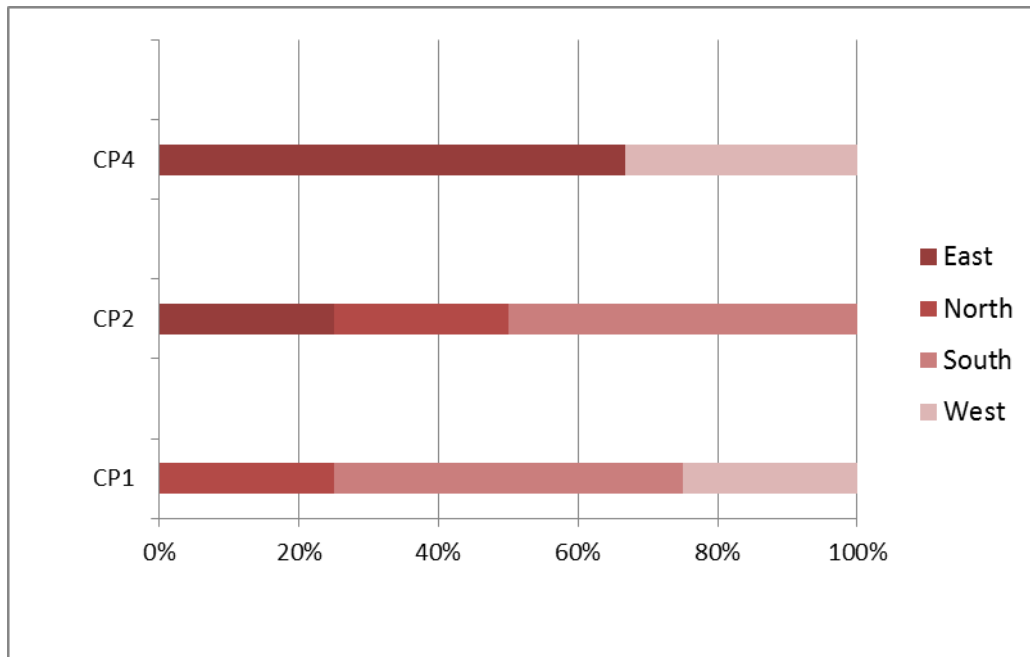
| მწვერვალი | სიმაღლე<br>ზღ. დ-დან<br>(მ) | სახეობების<br>რაოდენობა |      | სახეობების რაოდენობა (1მ <sup>2</sup> ) |              | „ახალი“<br>სახეობები | „დაკარგული“<br>სახეობები |
|-----------|-----------------------------|-------------------------|------|-----------------------------------------|--------------|----------------------|--------------------------|
|           |                             | 2001                    | 2008 | 2001                                    | 2008         |                      |                          |
| CP1       | 2240                        | 59                      | 63   | 12.5 ± 2.87                             | 15.5 ± 3.12  | 4                    | 0                        |
| CP2       | 2477                        | 71                      | 77   | 17.6 ± 3.29                             | 21.06 ± 3.17 | 8                    | 2                        |
| CP3       | 2815                        | 15                      | 13   | 9.12 ± 1.2                              | 10.8 ± 1.68  | 0                    | 2                        |
| CP4       | 3024                        | 29                      | 32   | 5.25 ± 2.5                              | 6.65 ± 3.2   | 3                    | 0                        |

| მწვერვალი | „ახალი“ სახეობები                                                                                                                                                                                                                            | „დაკარგული სახეობები“                                       |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| CP1       | <i>Cirsium obvallatum</i><br><i>Betulla litwinowii</i><br><i>Gentianella caucasea</i><br><i>Erigeron orientalis</i>                                                                                                                          | არ დაკარგულა სახეობები                                      |
| CP2       | <i>Daphne mezereum</i><br><i>Chaerophyllum aureum</i><br><i>Trifolium repens</i><br><i>Coeloglossum virida</i><br><i>Anemonastrum fasciculatum</i><br><i>Geranium ruprechtii</i><br><i>Trifolium canescens</i><br><i>Plantago lanceolata</i> | <i>Alchemilla chlorosericeae</i><br><i>Euphrasia minima</i> |
| CP3       | (no new taxa)                                                                                                                                                                                                                                | <i>Alchemilla sericata</i><br><i>Anthoxantum odoratum</i>   |
| CP4       | <i>Taraxacum porphyranthum</i><br><i>Scrophularia minima</i><br><i>Androsace albana</i>                                                                                                                                                      | არ დაკარგულა სახეობები                                      |

2008 წელს CP1 მწვერვალის ჩრდილოეთ ექსპოზიციაზე დაფიქსირდა *Betula litwinowii* (montane-treeline-alpine sp.), ხოლო სამხრეთ ექსპოზიციაზე *Cirsium obvallatum* და *Gentianella caucasea* (treeline-alpine sp.). CP2 მწვერვალზე ახალი სახეობების უმეტესობა შეგვხვდა ჩრდილოეთ ფერდობზე (*Daphne mezereum*, *Chaerophyllum aureum*, *Anemonastrum fasciculatum*, *Geranium ruprechtii*), ორი სახეობა იქნა აღმოჩენილი სამხრეთ ფერდობზე (*Trifolium repens*, *Coeloglossum viride*) და ორიც აღმოსავლეთ ექსპოზიციაზე (*Trifolium canescens*, *Plantago lanceolata*). CP4 მწვერვალის აღმოსავლეთ ექსპოზიციაზე აღმოჩნდა ორი „ახალი“ სახეობა (montane-treeline-alpine range) - *Taraxacum porphyranthum* და *Androsace albana*, დასავლეთ ფერდობზე კი-

*Scrophularia minima* (alpine-nival range). „ახალი“ სახეობების სიმაღლისა და ექსპოზიციის მიხედვით პროცენტული განაწილება მოცემულია მე-14 გრაფიკზე.

გრაფიკი 14. ახალი სახეობების პროცენტული განაწილება სამ მწვერვალზე (CP1, CP2, CP4) ექსპოზიციის მიხედვით (North-ჩრდილოეთი, East-აღმოსავლეთი, South-სამხრეთი, West-დასავლეთი)



„ახალი სახეობების“ რანგი ძირითადად იყო ტყის ზედა საზღვრისა და ალპური, მხოლოდ ერთი სახეობა-*Scrophularia minima* -იყო ალპურ-სუბნივალური.

სახეობათა სიმდიდრე მონიტორინგის პერიოდში (2001-2008) 1მ<sup>2</sup> ფართობებზე გაიზარდა 6.9-ით ქვედა ჰიფსომეტრულ სიმაღლეზე (CP1) და 1.5-ით ზედა მწვერვალზე (CP4). ჩვენს მიერ დადგინდა საწმუნო სწორხაზოვანი კავშირი სახეობათა სიმდიდრესა და ჰიფსომეტრულ სიმაღლეს შორის, სახეობათა სიმდიდრე მცირდება სიმაღლის ზრდასთან ერთად. ის დადებით კორელაციაშია ნიადაგის საშუალო ტემპერატურასა და GDD ინდექსსა. ეს დამოკიდებულება კარგად ჩანს კანონიკურ კომპონენტთა ანალიზის შედეგად მიღებული შედეგებით (ცხრ.13).

ცხრილი 13. პირსონის კორელაცია (Pearson's correlation) სახეობათა სიმდიდრეს, ნიადაგის საშუალო ტემპერატურას, GDD-სა და ჰიფსომეტრულ სიმაღლეს შორის.

|                   | სახეობათა<br>სიმდიდრე<br>1 მ <sup>2</sup> -ზე |                           | სიმაღლე<br>მ ზღ. დ-დან |                        | ნიადაგის<br>საშუალო<br>ტემპერატურა<br>(T°C) |                       |
|-------------------|-----------------------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------------------|-----------------------|
|                   | 2001                                          | 2008                      | 2001                   | 2008                   | 2001                                        | 2008                  |
| სიმაღლე ზღ. დ-დან | -0.675<br><b>&lt;0.001</b>                    | -0.701<br><b>0.001</b>    |                        |                        |                                             |                       |
| საშუალო T°C       | 0.389<br><b>0.002</b>                         | 0.465<br><b>&lt;0.001</b> | -0.191<br><b>0.31</b>  | 0.719<br><b>0.001</b>  |                                             |                       |
| GDD               | 0.747<br><b>&lt;0.001</b>                     | 0.646<br><b>&lt;0.001</b> | -0.811<br><b>0.001</b> | -0.722<br><b>0.001</b> | 0.438<br><b>0.001</b>                       | 0.775<br><b>0.001</b> |

2008 წელს ბევრმა სახეობამ დაიკავა ახალი ფართობები (აღმოჩნდნენ იმ 1მ<sup>2</sup> ფართობებზე, სადაც წინა წელს არ დაფიქსირდნენ). აქედან მხოლოდ რვა სახეობისთვის აღმოჩნდა ეს მონაცემები სარწმუნო (ცხრ. 14). 3 სახეობის მიერ დაკავებული ფართობების რაოდენობა კი შემცირდა (*Deschampsia flexuosa* ( $P=0.042$ ), *Alchemilla sericata* ( $P=0.016$ ), *Alchemilla chlorosericea* ( $P=0.025$ )), მათ შორის მნიშვნელოვანი შემცირება მხოლოდ *Alchemilla sericata*-ას შემთხვევაში დაფიქსირდა.

ცხრილი 14. სახეობათა მიერ დაკავებული ფართობების რაოდენობის ცვლილება 2001-2008 წლებში. (*mo-tl-al* - მთის-ტყის ზედა საზღვრის-ალპური, *tl-al* - ტყის ზედა საზღვრის-ალპური, *al-sn* - ალპურ-სუბნივალური, *sn* - სუბნივალური.)

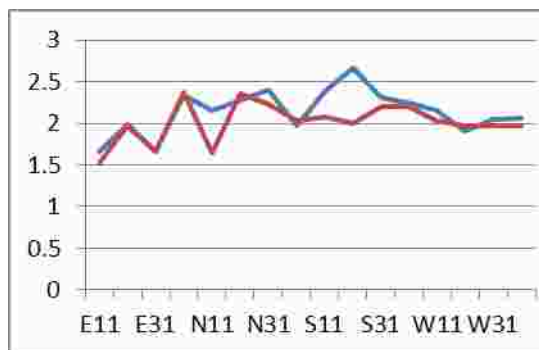
| სახეობა                         | სახეობათა რანგი | დაკავებული 18 <sup>2</sup> ფართ. რაოდენობა |      | SD       | P     |
|---------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|------|----------|-------|
|                                 |                 | 2001                                       | 2008 |          |       |
| <b>გაზრდილი</b>                 |                 |                                            |      |          |       |
| <i>Campanula collina</i>        | tl-al           | 15                                         | 17   | 1.414214 | 0.039 |
| <i>Festuca woronowii</i>        | tl-al           | 18                                         | 19   | 0.707107 | 0.017 |
| <i>Poa alpina</i>               | tl-al           | 33                                         | 37   | 2.828427 | 0.039 |
| <i>Ranunculus oreophilus</i>    | tl-al           | 12                                         | 14   | 1.414214 | 0.048 |
| <i>Rhododendron caucasicum</i>  | tl-al           | 2                                          | 6    | 2.828427 | 0.029 |
| <i>Taraxacum confusum</i>       | tl-al           | 7                                          | 8    | 0.707107 | 0.042 |
| <i>Sibbaldia procumbens</i>     | al-sn           | 20                                         | 26   | 0.707107 | 0.015 |
| <i>Taraxacum stevenii</i>       | al-sn           | 24                                         | 21   | 1.414214 | 0.025 |
| <b>შემცირებული</b>              |                 |                                            |      |          |       |
| <i>Deschampsia flexuosa</i>     | mo-tl-al        | 8                                          | 7    | 0.707107 | 0.042 |
| <i>Alchemilla sericata</i>      | tl-al           | 29                                         | 17   | 2.485181 | 0.026 |
| <i>Alchemilla chlorosericea</i> | sn              | 13                                         | 12   | 0.707107 | 0.025 |

#### 4.3.2 სახეობრივი მრავალფეროვნების ინდექსი

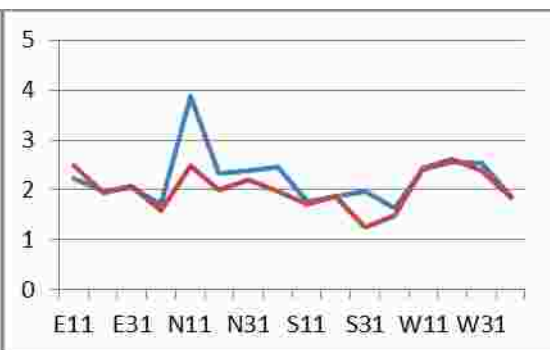
მცენარეთა მრავალფეროვნება სამონიტორინგო ნაკვეთებზე გამოითვალა შენონ-ვინერის ინდექსით (H) და ევენსით (J). აღსანიშნავია, რომ ეს ორი მონაცემი 2001 და 2008 წლებში ვარირებდა სხვადასხვა ექსპოზიციაზე. კერძოდ, შენონ-ვინერის ინდექსის ცვლილება უფრო შესამჩნევი იყო მხოლოდ CP1 და CP2 მწვერვალებზე (გრაფ. 15 ა,ბ), ხოლო CP3 და CP4-ზე შენონ-ვინერის ინდექსი ორივე წელს იცვლებოდა მსგავსი ტენდენციით (გრაფ. 15 გ,დ) და მაღალი კორელაციით (CP3 /  $r = 0.684$ , CP4 /  $r = 0.955$ ).

გრაფიკი 15. შენონ-ვინერის ინდექსის ცვლილება 2001 (ლურჯი ხაზი) და 2008 (წითელი ხაზი) წლებში CP1-CP4 მწვერვალებზე(ა, ბ,გ,დ)

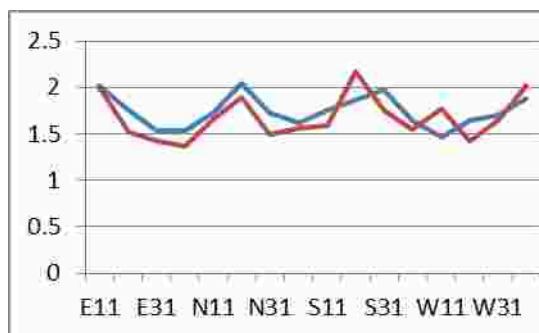
ა) CP1



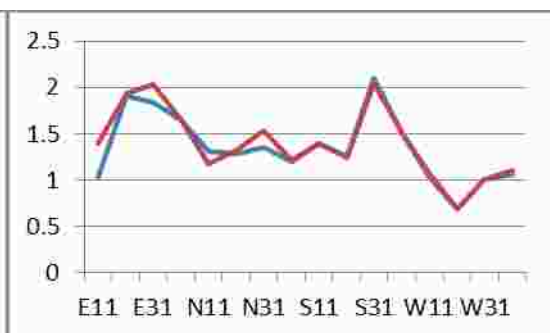
ბ) CP2



გ) CP3

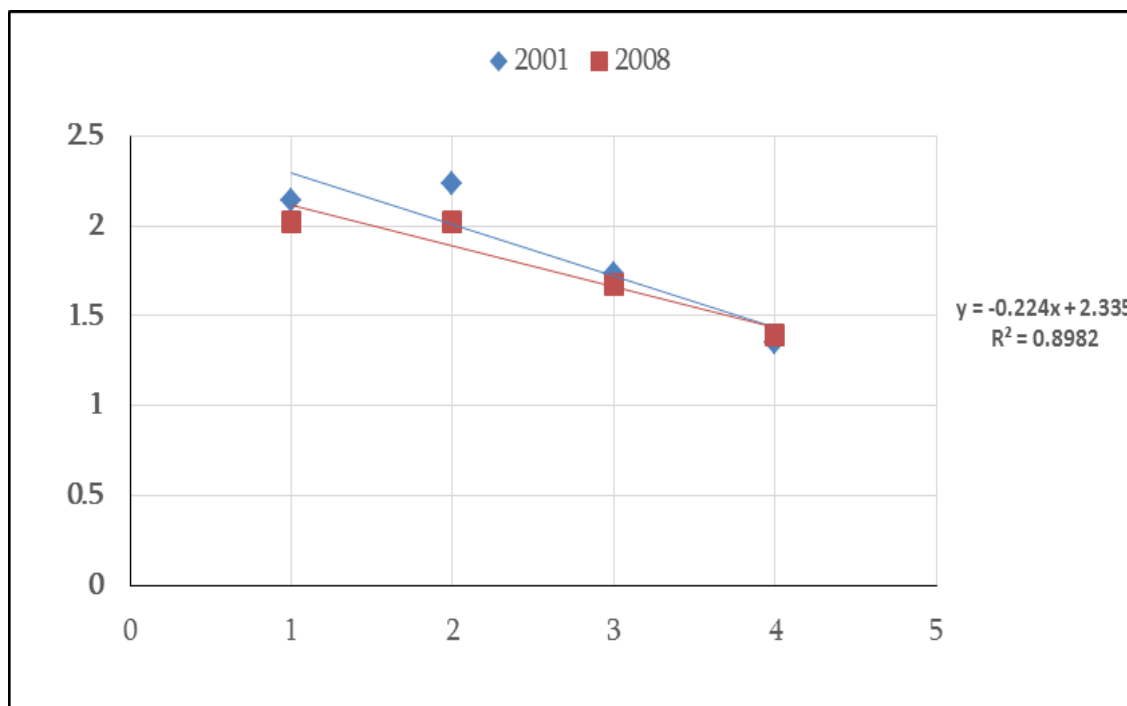


დ) CP4



მათემატიკურმა ანალიზმა აჩვენა ასევე სწორხაზოვანი კავშირი ინდექსის ცვლილებასა და სიმაღლის გრადიენტს შორის ( $R^2=0.898$ ,  $P=0.001$ ) (გრაფ.16). როგორც მოსალოდნელი იყო, მრავალფეროვნების ინდექსი უფრო მაღალი იყო დაბალ ჰიფსომეტრულ სიმაღლეზე (CP1, CP2), ვიდრე მაღალ მწვერვალებზე (CP3, CP4). 2001 წელთან შედარებით, 2008 წელს შენონ-ვინერის ინდექსის ცვლილება უმნიშვნელოა ოთხივე მწვერვალზე ( $P=0.006$ ).

გრაფიკი 16. შენონ-ვინერის ინდექსის ცვლილება ოთხ მწვერვალზე 2001 და 2008 წლებში (1-CP1, 2-CP2, 3-CP3, 4-CP4)



#### 4.3.3. ფლორისტული მსგავსების ინდექსი

სამონიტორინგო მწვერვალების ფლორისტული მსგავსების შედარებისთვის გამოვიყენეთ ჟაკარდის ინდექსი ( $S_j$ ). მიღებული მონაცემებიდან (ცხრ. 15) ჩანს, რომ ფლორისტული მსგავსება მწვერვალებს შორის არ არის მაღალი. შედარებით მაღალია მსგავსება CP1 და CP2 შორის, რაც ბუნებრივია, რადგან ამ მწვერვალების ჰიფსომეტრულ სიმაღლეებს შორის განსხვავება უფრო მცირეა, ვიდრე CP1 მწვერვალსა და CP3 ან CP4 მწვერვალებს შორის.

ცხრილი 15. ოთხი სამონიტორინგო მწვერვალის ფლორისტული მსგავსება გამოხატული ჟაკარდის ინდექსით

|     | CP1   | CP2   | CP3   | CP4 |
|-----|-------|-------|-------|-----|
| CP1 |       |       |       |     |
| CP2 | 0.546 |       |       |     |
| CP3 | 0.503 | 0.489 |       |     |
| CP4 | 0.473 | 0.503 | 0.494 |     |

|         | CP1   | CP2   | CP3&CP4 |
|---------|-------|-------|---------|
| CP1     |       |       |         |
| CP2     | 0.546 |       |         |
| CP3&CP4 | 0.488 | 0.496 |         |

|             | CP1   | CP2&CP3&CP4 |
|-------------|-------|-------------|
| CP1         |       |             |
| CP2&CP3&CP4 | 0.507 |             |

#### 4.3.4 სახეობათა დაფარულობის ცვლილება და დომინანტი სახეობები

ოთხივე მწვერვალის სამონიტორინგო ნაკვეთებზე აღრიცხული 138 სახეობიდან 68 სახეობას ორივე სამონიტორინგო წელს ეკავა არა ნაკლები სამი 1მ<sup>2</sup>-იანი ფართობისა. ამ სახეობებიდან სამონიტორინგო პერიოდში 17 სახეობის დაფარულობა შემცირდა, ხოლო ხუთი სახეობის - გაიზარდა (ცხრ. 16).

ცხრილი 16. სახეობათა დაფარულობის სარწმუნო ცვლილება 2001-2008 წლებში

| სახეობები                      | სახ.<br>რანგი | საშ./სტანდ.<br>გადახრა<br>2001 | საშ./სტანდ.<br>გადახრა.<br>2008 | პროცენტული<br>ცვლილება | P       |
|--------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------|---------|
| <b>შემცირებული</b>             |               |                                |                                 |                        |         |
| <i>Alchemilla sericata</i>     | tl-al         | 10.14 ± 6.798                  | 4.18 ± 3.244                    | -58.83                 | 0.002   |
| <i>Deschapsia flexuosa</i>     | tl-al         | 8.01 ± 4.334                   | 5.97 ± 0.75                     | -25.47                 | 0.01    |
| <i>Festuca airoides</i>        | tl-al         | 7.4 ± 5 .372                   | 5.94 ± 0.355                    | -19.86                 | < 0.001 |
| <i>Festuca ovina</i>           | tl-al         | 25.44 ± 11.856                 | 24.53 ± 11.167                  | - 3.61                 | < 0.001 |
| <i>Potentilla crantzii</i>     | tl-al         | 2.9 ± 4.006                    | 2.25 ± 3.591                    | -12.17                 | < 0.001 |
| <i>Rhododendron caucasicum</i> | tl-al         | 2.1 ± 2.001                    | 1.4 ± 1.259                     | -28.5                  | 0.02    |
| <i>Cerastium purpurascens</i>  | tl-al         | 1.01 ± 0.023                   | 0.9 ± 0.244                     | -10.9                  | 0.001   |
| <i>Antennaria caucasica</i>    | al            | 2.27 ± 2.051                   | 2.09 ± 1.48                     | -7.6                   | < 0.001 |
| <i>Fritillaria lutea</i>       | al            | 1.1 ± 0.452                    | 0.48 ± 0.303                    | -52                    | 0.004   |
| <i>Kobresia capilliformis</i>  | al            | 8.25 ± 6.396                   | 4.6 ± 3.507                     | -44.25                 | 0.03    |
| <i>Leontodon hispidus</i>      | al            | 3.3 ± 1.861                    | 2.82 ± 1.099                    | -14.55                 | 0.015   |
| <i>Luzula spicata</i>          | al-sn         | 3.1 ± 2.309                    | 2.12 ± 1.866                    | -29.17                 | 0.01    |
| <i>Saxifraga exarata</i>       | al-sn         | 3 ± 2.898                      | 2.17 ± 2.001                    | -27.63                 | 0.03    |
| <i>Sibbaldia procumbens</i>    | al-sn         | 24.15 ± 9.926                  | 19.52 ± 8.318                   | -19.18                 | < 0.001 |
| <i>Taraxacum stevenii</i>      | al-sn         | 3.62 ± 2.901                   | 3.36 ± 2.704                    | -7.28                  | 0.006   |
| <i>Matricaria breviriata</i>   | sn            | 2.1 ± 1.673                    | 1.17 ± 1.099                    | -41.4                  | 0.01    |
| <i>Veronica telephiifolia</i>  | sn            | 2.33 ± 0.577                   | 2.1 ± 0.816                     | -14.27                 | 0.007   |

| გაზრდილი                        |              |              |              |       |       |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------|-------|
| <i>Anthoxanthum odoratum</i>    | <i>tl-al</i> | 8.1 ± 8.701  | 9.75 ± 7.908 | 20.3  | 0.021 |
| <i>Gentiana septemfida</i>      | <i>tl-al</i> | 2.29±2.563   | 2.32±2.373   | 20.3  | 0.005 |
| <i>Carum caucasicum</i>         | <i>al</i>    | 2.76 ± 2.605 | 3.27 ±3.510  | 18.47 | 0.026 |
| <i>Alchemilla caucasica</i>     | <i>al-sn</i> | 3.6 ±1.673   | 4.2 ±2.564   | 16    | 0.04  |
| <i>Alchemilla chlorosericea</i> | <i>sn</i>    | 5.87 ± 2.525 | 6.25 ± 2.361 | 7.02  | 0.027 |

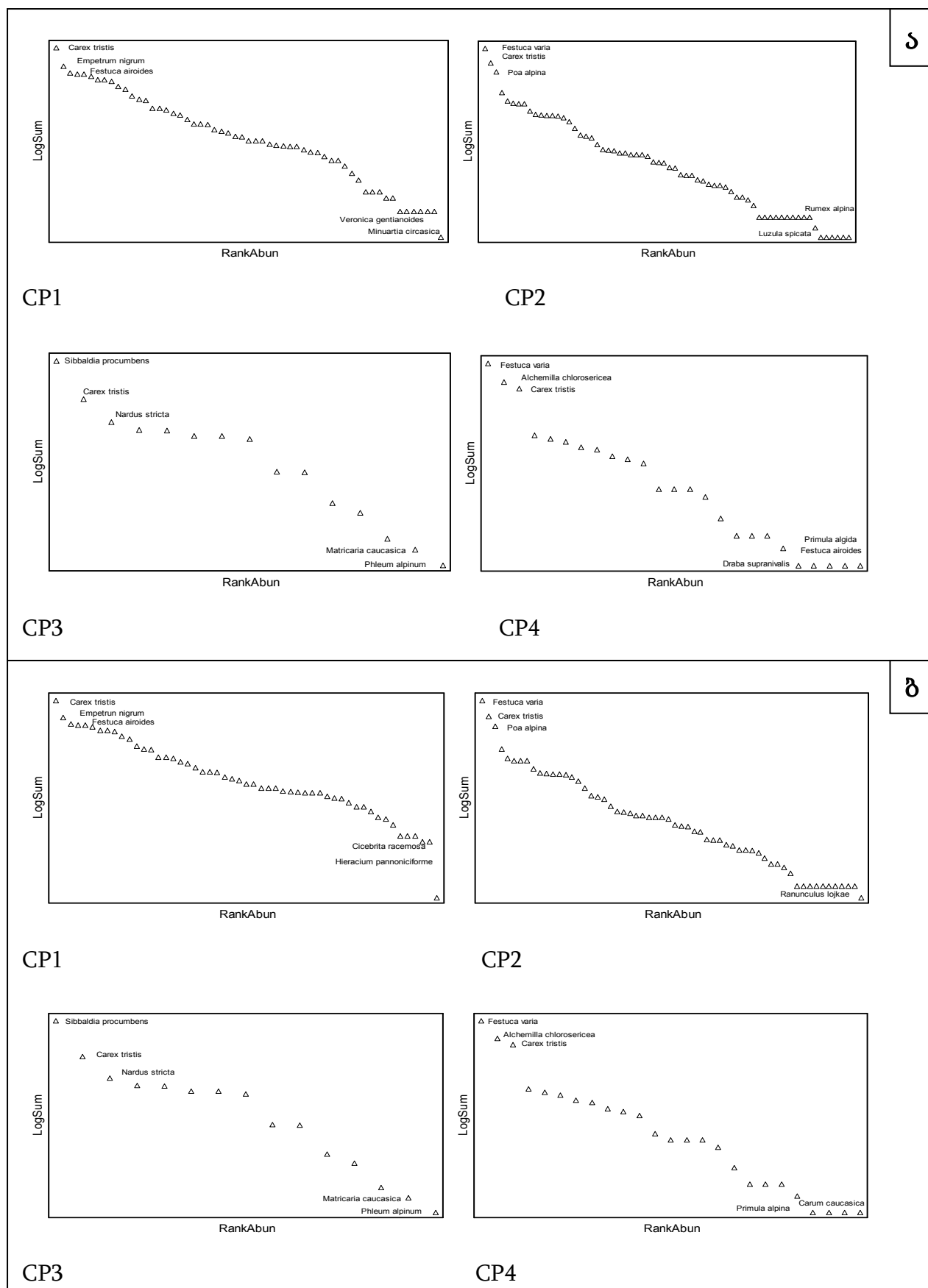
სახ. - სახეობა;  $\alpha=0.05$ ; *tl-al* - ტყის ზედა საზღვრის და ალპური ზონის სახ; *al* - ალპური სახ; *al-sn* - ალპურ-სუბნივალური სახ; *sn* - სუბნივალური.

მიღებული შედეგებიდან აღსანიშნავია, რომ დაფარულობა შემცირდა უფრო მეტად ტყის ზედა საზღვრის და ალპური რანგის სახეობებში, როგორცაა: *Alchemilla sericata* ( $P=0.002$ ), *Deschampsia flexuosa* ( $P=0.01$ ), *Festuca airoides* ( $P<0.001$ ), *Festuca ovina* ( $P<0.001$ ) და სხვა. რაც შეეხება იმ სახეობებს, რომელთა დაფარულობაც გაიზარდა, ხუთი სახეობიდან ერთი ალპურ-სუბნივალურია - *Alchemilla caucasica* ( $P=0.04$ ) და ერთიც ნივალური - *Alchemilla chlorosericea* ( $P=0.027$ ).

სხვადასხვა სახეობათა დაფარულობა კარგად ჩანს PC-ORD სტატისტიკური პროგრამის დომინანტობის ტესტით, რომელიც გამოჰყოფს დაფარულობის მიხედვით დომინანტ სახეობებს (გრაფ.17). ყველაზე მაღალი რანგია 1, ამ რანგის სახეობების სიმრავლისა და სიხშირის მაჩვენებლები მაღალია, უფრო ნაკლები სიმრავლის სახეობების რანგია 2 და ა.შ (ცხრ.17).

2001 წელს ოთხივე მწვერვალზე გამოიყო ის დომინანტი სახეობები, რომლებიც ხასიათდებიან სიმრავლის მაღალი რანგით (1-5), 2008 წელს ამ სახეობების სიმრავლის მაჩვენებელი არ შეცვლილა.

გრაფიკი 17. დაფარულობის მოხედვით დომინანტი სახეობები 2001 (ა) და 2008 (ბ) წელს (PCORD სტატისტიკური პროგრამის სახეობათა დომინანტობის ტესტი).



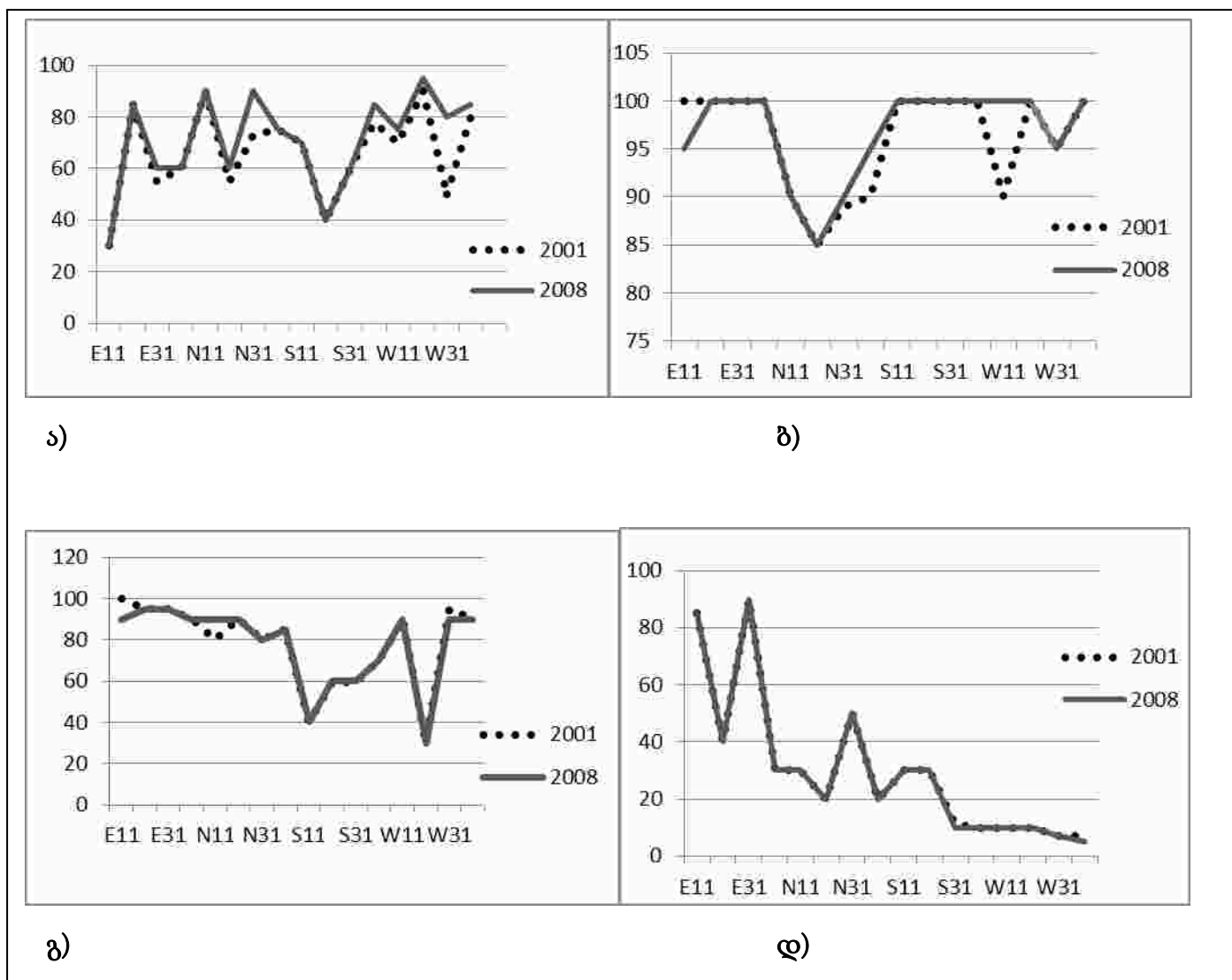
ცხრილი 17. დომინანტი სახეობების სიმრავლისა და სიხშირის რანგი 2001 და 2008 წლებში (PCORD სტატისტიკური პროგრამის სახეობათა დომინანტობის ტესტი).

| სახეობები                   | სიმრავლის<br>რანგი<br>2001 | სიმრავლის<br>რანგი<br>2008 | სიხშირი<br>ს რანგი | სიხშ. | სასუალო | SD     |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|-------|---------|--------|
| <b>CP1</b>                  |                            |                            |                    |       |         |        |
| Carex tristis               | 1                          | 1                          | 1                  | 13    | 9.906   | 8.948  |
| Empetrum nigrum             | 2                          | 2                          | 6                  | 4     | 5.187   | 11.956 |
| Festuca airoides            | 3                          | 3                          | 5                  | 9     | 4.094   | 6.563  |
| Bromus variegatus           | 4                          | 4                          | 6                  | 7     | 3.968   | 5.368  |
| Agrostis capillaris         | 5                          | 5                          | 12                 | 5     | 3.937   | 6.276  |
| <b>CP2</b>                  |                            |                            |                    |       |         |        |
| Festuca varia               | 1                          | 1                          | 7                  | 10    | 20.125  | 19.449 |
| Carex tristis               | 2                          | 2                          | 2                  | 14    | 12.200  | 3.228  |
| Poa alpina                  | 3                          | 3                          | 3                  | 13    | 9.000   | 7.659  |
| Anthoxanthum odoratum       | 4                          | 4                          | 13                 | 7     | 4.437   | 7.966  |
| Festuca airoides            | 5                          | 5                          | 8                  | 8     | 3.343   | 4.791  |
| <b>CP3</b>                  |                            |                            |                    |       |         |        |
| Sibbaldia procumbens        | 1                          | 1                          | 1                  | 16    | 23.750  | 8.690  |
| Carex tristis               | 2                          | 2                          | 2                  | 14    | 8.937   | 6.647  |
| Nardus stricta              | 3                          | 3                          | 4                  | 13    | 5.000   | 6.186  |
| Plantago atrata             | 4                          | 4                          | 5                  | 13    | 4.062   | 3.492  |
| Carum Caucasicum            | 5                          | 5                          | 3                  | 13    | 4.000   | 3.983  |
| <b>CP4</b>                  |                            |                            |                    |       |         |        |
| Festuca varia               | 1                          | 1                          | 3                  | 8     | 7.062   | 11.636 |
| Alchemilla<br>chlorosericea | 2                          | 2                          | 1                  | 12    | 4.562   | 3.794  |
| Carex tristis               | 3                          | 3                          | 2                  | 10    | 3.937   | 4.654  |
| Anthemis iberica            | 4                          | 4                          | 6                  | 6     | 1.312   | 2.750  |
| Alchemilla retinervis       | 5                          | 5                          | 7                  | 4     | 1.218   | 2.750  |

როგორც მე-17 ცხრილიდან ჩანს, CP1 და CP2 მწვერვალებზე დომინანტი სახეობები ძირითადად მარცლოვნები არიან. მაღალ მწვერვალებზე ეს სურათი იცვლება. მხოლოდ ორი სახეობაა მარცლოვანი: *Nardus stricta* (RankAbun-3) CP3-ზე და *Festuca varia* (RankAbun-1)-CP4-ზე. აღსანიშნავია, რომ როგორც 2001, ისე 2008 წელს ოთხივე მწვერვალზე *Carex tristis*-ის სიმრავლის რანგი საკმაოდ მაღალი იყო. (1-3). ეს კარგად ჩანს სტატისტიკური ტესტის შედეგად მიღებული ცხრილიდან (ცხრ. 17). მონიტორინგის პერიოდში მცირედით შეიცვალა საკმაოდ დაბალი სიმრავლის რანგის მქონე სახეობების სიმრავლის მაჩვენებელი. მაგ: CP1 მწვერვალზე *Hieracium pannoniciforme*-ის სიმრავლის რანგი გაიზარდა 50-დან 52-მდე, *Cicebrita racemosa*-ს კი 49-დან 51-მდე. CP2-ზე *Luzula multiflora*-ის სიმრავლის რანგი იცვლება 66-დან 63-მდე, ხოლო *Rumex alpinus*-ის კი 66-დან 59-მდე. ასევე მნიშვნელოვნად არ შეცვლილა ენდემური სახეობების (*Veronica telephiifolia*, *Draba hispida*, *Rhododendron caucasicum*, *Dryas caucasica*) სიმრავლის რანგი.

მონიტორინგის პერიოდში თითქმის არ შეცვლილა კლასტერების საერთო დაფარულობა (გრაფ.18 ა, ბ, გ, დ). აღნიშნული მონაცემის უმნიშვნელო ცვლილება ძირითადად დაფიქსირდა CP1 ( $r=0.901$ ,  $P<0.001$ ) და CP2 ( $r = 0.823$ ,  $P<0.001$ ) მწვერვალზე. უფრო მაღალ ჰიფსომეტრულ სიმაღლეზე (CP3 და CP4) კლასტერების საერთო დაფარულობა 2008 წელს თითქმის არ იცვლება და კორელაციის კოეფიციენტიც უფრო მაღალია ( $r = 0.982$ ,  $r = 0.999$ ), ვიდრე დაბალ სიმაღლეზე.

გრაფიკი 18. კლასტერების საერთო დაფარულობის ცვლილება 2001-2008 წელს CP1-CP4 მწვერვალებზე. (ა)-CP1, ბ)-CP2, გ)-CP3, დ)-CP4



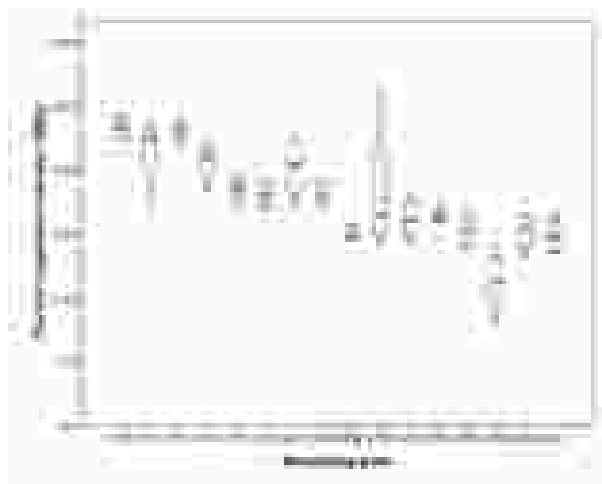
#### 4.4. მცენარეულობის თერმული ინდიკატორი ( $S$ ), თერმოფილიზაციის ინდექსი ( $D$ ) და ორდინაციული ანალიზი

სახეობათა დაფარულობიდან თვითოეული კლასტერისთვის გამოითვალა მცენარეულობის თერმული ინდიკატორი  $S$  და თერმოფილიზაციის ინდექსი  $D$ . მონიტორინგის პერიოდში თერმული ინდიკატორი ვარირებდა როგორც

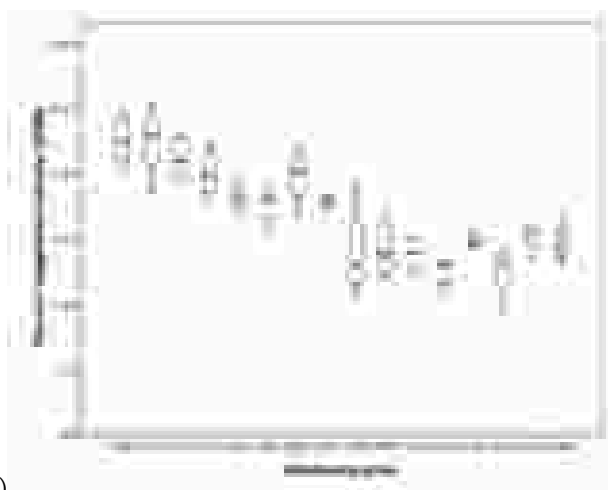
ექსპოზიციის (გრაფ.19 ა, ბ), ისე წლების მიხედვით (გრაფ.21). მისი ცვლილება სანდოა  $1\text{მ}^2$  ფართობებზე ( $t = 3.2$ ,  $df = 63$ ,  $P = 0.002$ ).

გრაფიკი 19. S ინდექსის ცვლილება 2001 (ა) და 2008 (ბ) წლებში ოთხ მწვერვალზე ექსპოზიციის მიხედვით.

ა)

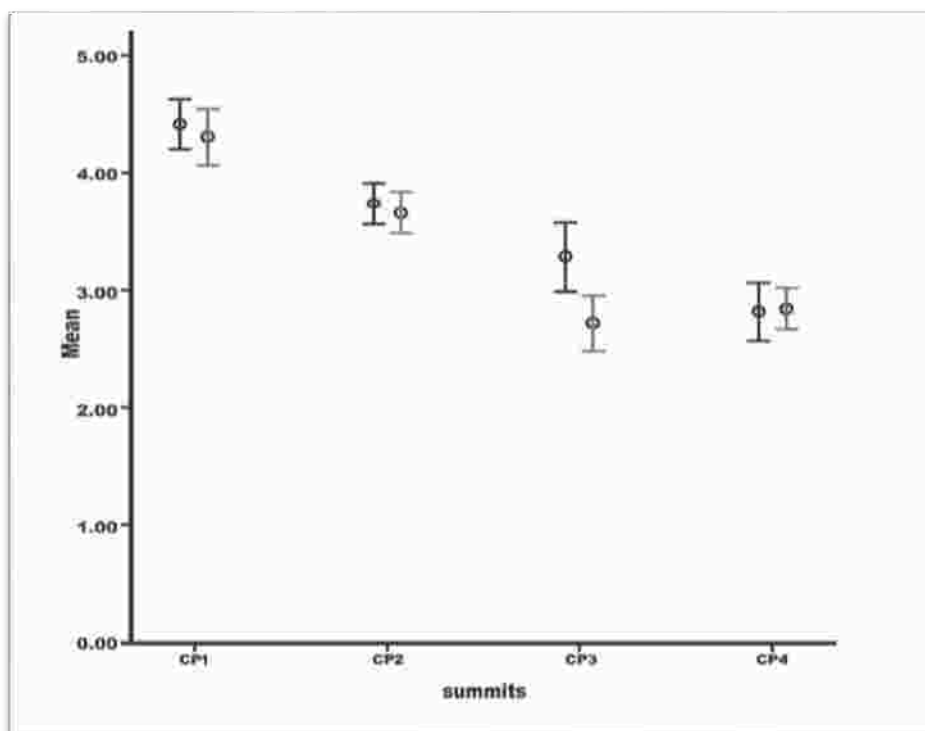


ბ)



2001 და 2008 წლის მონაცემების შედარების შედეგად მივიღეთ, რომ 2008 წელს მცენარეულობის თერმული ინდიკატორი შემცირდება თითქმის ყველა მწვერვალზე.

გრაფიკი 20. მცენარეულობის თერმული ინდიკატორის (S) ცვლილება ოთხ მწვერვალზე (CP1-CP4), მუქი ხაზი-2001 წლის მონაცემები, ნაცრისფერი-2008.

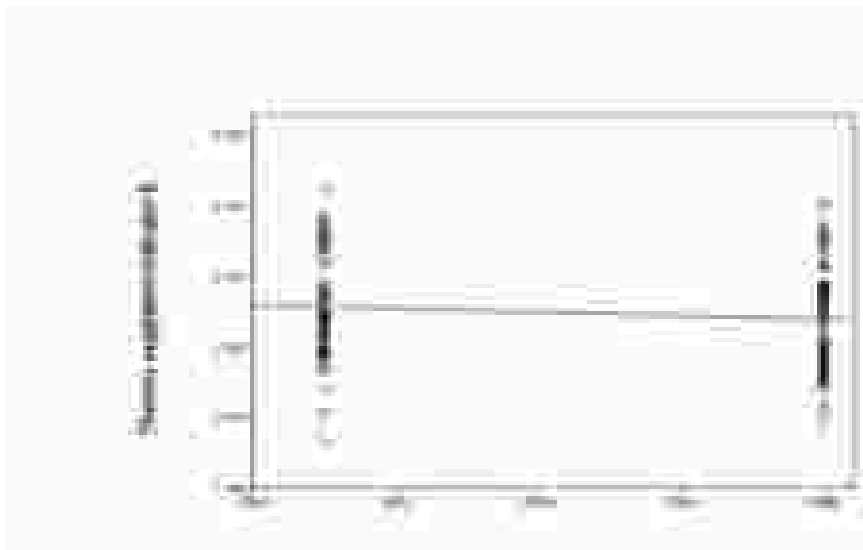


რეგრესიულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ 2001 და 2008 წლებში D ინდექსი ასევე ვარირებდა სხვადასხვა ექსპოზიციასზე და მისი ცვლილების ტენდენცია უარყოფითი იყო ( $r = -0.241$ ,  $F = 1.877$ ,  $b_1 = -0.030$ ,  $P = 0.073$ ) (გრაფ. 21, ცხრ. 18), თუმცა ნაკლებად სარწმუნო.

ცხრილი 18. სიმაღლის გრადიენტის მიხედვით თერმოფილიზაციის ინდიკატორის ცვლილების სტატისტიკური ცხრილი

| მწვერვალი | საშუალო | სტანდ.გად. | სტანდ. შეც. | მინიმუმი | მაქსიმუმი |
|-----------|---------|------------|-------------|----------|-----------|
| CP1       | -0.1063 | 0.4029     | 0.1007      | -0.92    | 0.48      |
| CP2       | -0.0412 | 0.1746     | 0.0436      | -0.39    | 0.32      |
| CP3       | -0.4800 | 0.5451     | 0.1362      | -1.76    | 0.81      |
| CP4       | 0.0388  | 0.3446     | 0.0537      | -0.35    | 1.03      |

გრაფიკი 21. მცენარეულობის თერმული ინდიკატორის ინდექსის ცვლილება 2001 და 2008 წლებში..

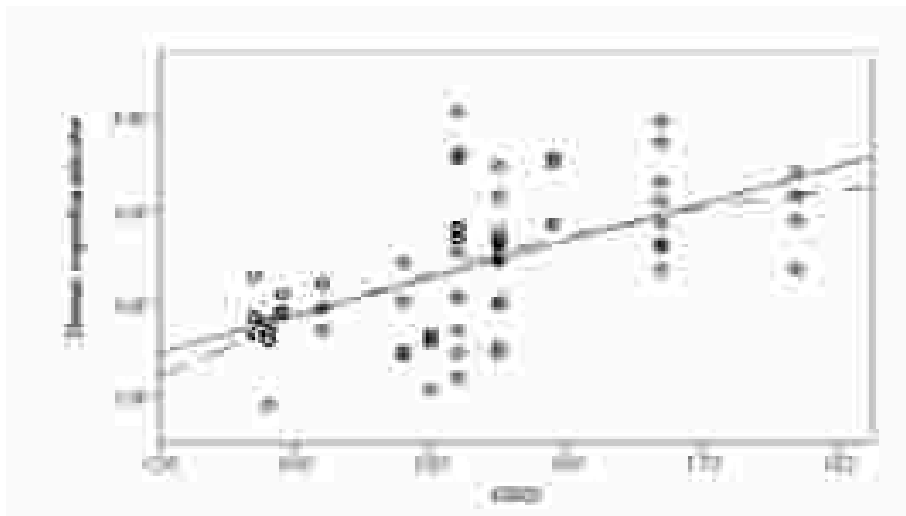
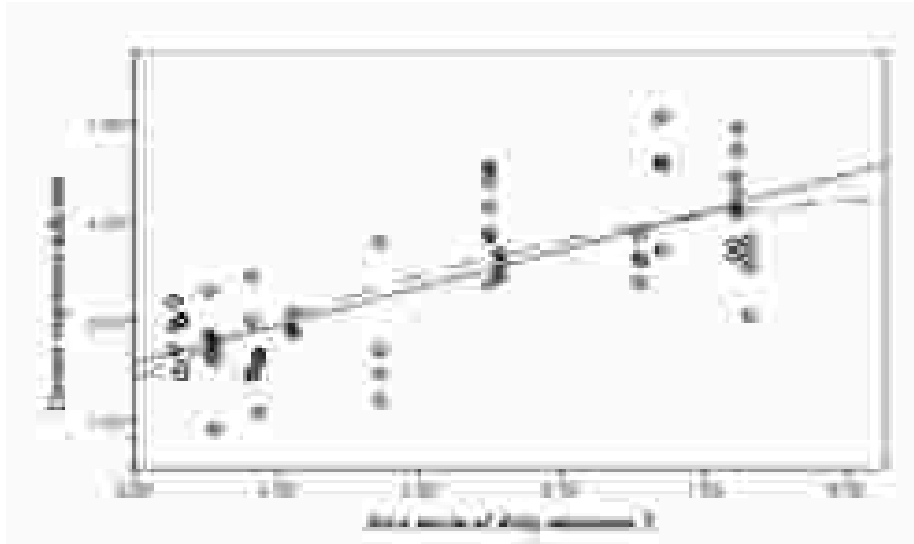


ორდინაციული ანალიზის საშუალებით დადგინდა, რომ S ინდექსი დადებით კორელაციაშია GDD-სა და ივნისის მინიმალურ ტემპერატურის ცვლილებასთან (June mean of daily  $T^{\circ}\text{C}$ ). კორელაციის ცხრილში (ცხრ. 19) და ორდინაციულ გრაფიკებზე (გრაფ. 22) კარგად ჩანს ეს დამოკიდებულება.

ცხრილი 19. კორელაცია S ინდექსსა და სხვა ეკოლოგიურ მახასიათებლებს შორის

|                                      | S ინდექსი | GDD   | ნიადაგის საშ.<br>$T^{\circ}\text{C}$ | ივნისის მინ.<br>$T^{\circ}\text{C}$ |
|--------------------------------------|-----------|-------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| S ინდექსი                            | 1.000     | 0.576 | 0.462                                | 0.686                               |
| GDD                                  | 0.576     | 1.000 | 0.688                                | 0.426                               |
| ნიადაგის საშ.<br>$T^{\circ}\text{C}$ | 0.426     | 0.688 | 1.000                                | 0.440                               |
| ივნისის მინ.<br>$T^{\circ}\text{C}$  | 0.686     | 0.426 | 0.440                                | 1.000                               |

გრაფიკი 22. კანონიკურ (ანუ სტანდარტულ) კომპონენტთა ანალიზი (CCA). მცენარეულობის თერმოფილური ინდიკატორისა (S) და სხვა ეკოლოგიური მახასიათებლების დამოკიდებულების გრაფიკები. (Thermic vegetation indicator- მცენარეულობის თერმული ინდიკატორი. June mean of daily minimum - ივნისის მინიმალური ტემპერატურა, GDD-ზრდის სეზონის ხანგრძლივობა).



#### 4.5. ინდიკატორი სახეობები

სტატისტიკური პროგრამის ინდიკატორ სახეობათა ანალიზის (Indicator Species Analysis) გამოყენებით თვითოეულ სიმაღლეზე გამოიყო კონკრეტული ექსპოზიციის

ინდიკატორი სახეობები (ცხრ.20). 2001 წელს CP1 მწვერვალზე სამი სახეობა (*Empetrum nigrum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Hieracium pilosella*) გამოიყო როგორც ჩრდილოეთ ექსპოზიციის ინდიკატორი. ხოლო ერთი (*Vicia cracca*)-დასავლეთ ფერდობის. ჩრდილოეთ ფერდობზე აღნიშნული სახეობები ფარავენ 1მ<sup>2</sup> ფართობების 100%, *Vicia cracca* კი ფარავს დასავლეთ ექსპოზიციის ფართობების 75 %. ინდიკატორული მაჩვენებელი ამ სახეობებისთვის არის მაღალი 75-100 და სარწმუნოების კოეფიციენტიც ნაკლებია 0.05-ზე. CP2 მწვერვალზე ოთხი სახეობა გამოიყო როგორც ჩრდილოეთ ექსპოზიციის ინდიკატორი (*Carex atrata*, *Matricaria braviradiata*, *Sibbaldia procumbens* და *Luzula stenophylla*), ხოლო ორი სახეობა-*Geranium ibericum* Cav. და *Trifolium trichocephalum* - როგორც სამხრეთ ფერდობის ინდიკატორი. CP3 მწვერვალზე არ დაფიქსირდა ინდიკატორი სახეობები. CP4-ზე კი მხოლოდ ერთი სახეობა- *Veronica telephiifolia* - გამოიყო როგორც დასავლეთ ექსპოზიციის ინდიკატორი. 2008 წელს ინდიკატორი სახეობების ინდიკატორული მაჩვენებელი თითქმის არ შეცვლილა, მხოლოდ CP2 მწვერვალის დასავლეთ ექსპოზიციაზე გამოიყო ახალი ინდიკატორი სახეობა - *Campanula tridentata*.

ცხრილი 20. ოთხ მწვერვალის (CP1, CP2, CP3, CP4) ოთხ ექსპოზიციაზე (აღ. ჩრდ. სამხ. დას.) სახეობების ფარდობითი რაოდენობა (%) და ფარდობითი სიხშირე (%)

| სახეობები                    | ფარდობითი რაოდენობა (%) |     |      |       |      | ფარდობითი სიხშირე (%) |     |      |       |      | მონტე-კარლოს ტესტი |      |       |        |
|------------------------------|-------------------------|-----|------|-------|------|-----------------------|-----|------|-------|------|--------------------|------|-------|--------|
| CP1                          | ექსპოზიცია              |     |      |       |      | ექსპოზიცია            |     |      |       |      |                    |      |       |        |
|                              | მაქ.                    | აღ. | ჩრდ. | სამხ. | დას. | მაქ.                  | აღ. | ჩრდ. | სამხ. | დას. | ინდ. მაჩ.          | საშ. | SD    | P      |
| <i>Deschapsia flexuosa</i>   | 80                      | 80  | 20   | 0     | 0    | 100                   | 100 | 50   | 0     | 0    | 79.9               | 30/8 | 13.23 | 0.0086 |
| <i>Trifolium ambiguum</i>    | 66                      | 66  | 17   | 17    | 0    | 100                   | 100 | 100  | 75    | 0    | 66.1               | 40.5 | 12.33 | 0.0462 |
| <i>Taraxacum confusum</i>    | 81                      | 81  | 0    | 19    | 0    | 75                    | 75  | 0    | 25    | 0    | 61.1               | 29   | 15.08 | 0.0888 |
| <i>Empetrum nigrum</i>       | 100                     | 0   | 100  | 0     | 0    | 100                   | 0   | 100  | 0     | 0    | 100                | 28.2 | 14.95 | 0.0034 |
| <i>Vaccinium vitis-idaea</i> | 100                     | 0   | 100  | 0     | 0    | 100                   | 0   | 100  | 0     | 0    | 100                | 28   | 14.71 | 0.0034 |
| <i>Hieracium pilosella</i>   | 100                     | 0   | 100  | 0     | 0    | 75                    | 0   | 75   | 0     | 0    | 75                 | 25.2 | 14.19 | 0.0276 |
| <i>Euphrasia hirtella</i>    | 91                      | 0   | 5    | 91    | 5    | 100                   | 0   | 25   | 100   | 25   | 90.9               | 31.9 | 13.88 | 0.001  |
| <i>Bromus variegatus</i>     | 61                      | 0   | 2    | 61    | 36   | 100                   | 0   | 25   | 100   | 50   | 61.4               | 30.4 | 11.73 | 0.028  |
| <i>Potentilla crantzii</i>   | 83                      | 0   | 0    | 83    | 17   | 75                    | 0   | 0    | 75    | 25   | 62.5               | 27.5 | 13.92 | 0.0788 |
| <i>Vicia cracca</i>          | 100                     | 0   | 0    | 0     | 100  | 100                   | 0   | 0    | 0     | 100  | 100                | 26.6 | 13.01 | 0.0034 |

| სახეობები                      | ფარდობითი რაოდენობა (%) |     |      |       |      | ფარდობითი სიხშირე (%) |     |      |       |      | მონტე-კარლოს ტესტი |             |           |          |
|--------------------------------|-------------------------|-----|------|-------|------|-----------------------|-----|------|-------|------|--------------------|-------------|-----------|----------|
| <b><i>CP1</i></b>              | ექსპოზიცია              |     |      |       |      | ექსპოზიცია            |     |      |       |      | <i>ინდ.მაჩ.</i>    | <i>საშ.</i> | <i>SD</i> | <i>P</i> |
|                                | მაქ.                    | აღ. | ჩრდ. | სამხ. | დას. | მაქ.                  | აღ. | ჩრდ. | სამხ. | დას. |                    |             |           |          |
| <i>Carex tristis</i>           | 50                      | 3   | 17   | 30    | 50   | 100                   | 25  | 100  | 100   | 100  | 50.5               | 35          | 6.85      | 0.026    |
| <i>Alchemilla caucasica</i>    | 100                     | 0   | 0    | 0     | 100  | 75                    | 0   | 0    | 0     | 75   | 75                 | 25.6        | 14.14     | 0.0304   |
| <b>CP2</b>                     |                         |     |      |       |      |                       |     |      |       |      |                    |             |           |          |
| <i>Potentilla crantzii</i>     | 85                      | 85  | 0    | 0     | 15   | 100                   | 100 | 0    | 0     | 50   | 84.7               | 35.7        | 15.87     | 0.0176   |
| <i>Carex atrata</i>            | 100                     | 0   | 100  | 0     | 0    | 100                   | 0   | 100  | 0     | 0    | 100                | 28.7        | 14.74     | 0.0026   |
| <i>Matricaria breviradiata</i> | 100                     | 0   | 100  | 0     | 0    | 100                   | 0   | 100  | 0     | 0    | 100                | 32.8        | 15.59     | 0.0026   |
| <i>Sibbaldia procumbens</i>    | 100                     | 0   | 100  | 0     | 0    | 100                   | 0   | 100  | 0     | 0    | 100                | 26.2        | 12.61     | 0.0026   |
| <i>Anthoxanthum odoratum</i>   | 80                      | 20  | 80   | 0     | 0    | 100                   | 75  | 100  | 0     | 0    | 80.3               | 32.9        | 13.29     | 0.0126   |
| <i>Festuca airoides</i>        | 68                      | 21  | 68   | 0     | 11   | 100                   | 50  | 100  | 0     | 50   | 68.2               | 32.8        | 12.05     | 0.0136   |
| <i>Veronica gentianoides</i>   | 64                      | 12  | 64   | 0     | 24   | 100                   | 25  | 100  | 0     | 25   | 64.3               | 29.2        | 12.28     | 0.0254   |

| სახეობები                       | ფარდობითი რაოდენობა (%) |     |      |       |      | ფარდობითი სიხშირე (%) |     |      |       |      | მონტე-კარლოს ტესტი |      |       |        |
|---------------------------------|-------------------------|-----|------|-------|------|-----------------------|-----|------|-------|------|--------------------|------|-------|--------|
| CP2                             | ექსპოზიცია              |     |      |       |      | ექსპოზიცია            |     |      |       |      | ინდ.მაჩ            | საშ. | SD    | P      |
|                                 | მაქ.                    | აღ. | ჩრდ. | სამხ. | დას. | მაქ.                  | აღ. | ჩრდ. | სამხ. | დას. |                    |      |       |        |
| <i>Luzula stenophylla</i>       | 100                     | 0   | 100  | 0     | 0    | 75                    | 0   | 75   | 0     | 0    | 75                 | 26   | 14.51 | 0.0266 |
| <i>Agrostis capillaris</i>      | 85                      | 0   | 85   | 0     | 15   | 75                    | 0   | 75   | 0     | 25   | 63.6               | 26.5 | 12.77 | 0.0294 |
| <i>Geranium ibericum</i>        | 100                     | 0   | 0    | 100   | 0    | 100                   | 0   | 0    | 100   | 0    | 100                | 28.3 | 14.09 | 0.0024 |
| <i>Trifolium trichocephalum</i> | 100                     | 0   | 0    | 100   | 0    | 75                    | 0   | 0    | 75    | 0    | 75                 | 29.1 | 14.03 | 0.0272 |
| <i>Fritillaria lutea</i>        | 79                      | 21  | 0    | 0     | 79   | 100                   | 25  | 0    | 0     | 100  | 79.2               | 28.7 | 13.02 | 0.0078 |
| <i>Carex tristis</i>            | 44                      | 29  | 8    | 19    | 44   | 100                   | 100 | 75   | 75    | 100  | 43.5               | 33.9 | 5.14  | 0.0446 |
| CP4                             |                         |     |      |       |      |                       |     |      |       |      |                    |      |       |        |
| <i>Alchemilla retinervis</i>    | 97                      | 97  | 0    | 3     | 0    | 75                    | 75  | 0    | 25    | 0    | 73.1               | 27.4 | 14.67 | 0.0284 |
| <i>Veronica telephiifolia</i>   | 100                     | 0   | 0    | 0     | 100  | 75                    | 0   | 0    | 0     | 75   | 75                 | 25   | 14.27 | 0.0288 |
| <i>Festuca woronowii</i>        | 65                      | 65  | 11   | 24    | 0    | 100                   | 100 | 25   | 75    | 0    | 65.5               | 35.2 | 13.35 | 0.0498 |

## დისკუსია

თანამედროვე მსოფლიოში კლიმატის გლობალური ცვლილება (დათბობა) და მისი გავლენა მაღალმთის მცენარეულობის მრავალფეროვნებაზე ერთ-ერთი ყველაზე აქტუალური ეკოლოგიური პრობლემაა და განსაკუთრებული დისკუსიის საგანია. დღეს არსებული მდგომარეობით, ჩრდილო - დასავლეთ ევროპაში 1971-2000 წელს ჰაერის ტემპერატურამ მოიმატა  $1.54^{\circ}\text{C}$ -ით. ამასთან ერთად ამ რეგიონში აღინიშნა ატმოსფერული ნალექების მატება, ხოლო სამხრეთ ევროპაში-პირიქით ნალექი შემცირდა (დაახლოებით 20%-ით). სხვადასხვა საპროგნოზო მოდელების თანახმად 2031-2060 წწ ევროპაში ჰაერის ტემპერატურა მოიმატებს  $2.1^{\circ}\text{C}$ -დან  $4.4^{\circ}\text{C}$  -მდე, ხოლო მთელ დედამიწაზე 2100 წლისთვის ჰაერის ტემპერატურის მატება იქნება საშუალოდ  $1.5^{\circ}\text{C}$  -დან  $5.6^{\circ}\text{C}$ -მდე (Schöter et al., 2005, Vautard et al., 2014). ზამთრის ტემპერატურის ცვლილება გავლენას მოახდენს მცენარეებზეც. ვარაუდობენ, რომ პატარა მცენარეები გაქრება, ხოლო დიდი მცენარეების არეალი შემცირდება 30% -ით (Schneeberger et al., 2003). საქართველოში ინტენსიური დათბობა დაფიქსირდა 1982-2003 წწ და ჰაერის ტემპერატურამ მოიმატა საშუალოდ  $0.8^{\circ}\text{C}$ -ით (Elizbarashvili, 2010).

მრავალმა კვლევამ და მათ შორის, მსოფლიოს 47 ქვეყანაში GLORIA-ს პროექტის ფარგლებში ჩატარებულმა მონიტორინგის პირველმა ციკლმა (2001–2008 წწ) ნათლად აჩვენა, რომ კლიმატის მიმდინარე გლობალურმა ცვლილებამ უკვე გამოიწვია მაღალმთის მცენარეული მრავალფეროვნების მეტ-ნაკლებად გამოხატული ცვლილება: სახეობათა მიგრაცია და ცივი ჰაბიტატების ზოგიერთი სახეობის რადიკალური შემცირება ან საერთოდ გაქრობა (Sætersdal, Birks, 1997; Gottfried et al., 1998; Gottfried et al., 2007, 2012; Pauli et al., 2012).

გარემოს ნებისმიერი ცვლილება ნიშნავს, რომ ადგილობრივი ბუნებრივი პოპულაცია ან შეეგუება ახალ პირობებს, ან ნიშიდან ამოვარდება – მიგრირდება, ან საერთოდ გადაშენდება. კონკურენციას გაუძლებს და გადარჩება ისეთი სახეობა, რომელიც უფრო ეფექტიანად გამოიყენებს გარემოს უმთავრეს რესურსებს (Körner, 2003, 2009, 2014). ტაქსონების უმეტესობას შესწევს უნარი ადვილად გაუმკლავდეს გარემოს რამდენიმე გრადუსით დათბობას (Spehn, Rudmann-Maurer, 2010). მაღალმთის

სახეობათა მძლავრი ბუნებრივი ინერციიდან გამომდინარე, კლიმატის 1–2°C-ით დათბობა ალპურ მცენარეულობაში გამოიწვევს მხოლოდ მცირე მოკლევადიან ცვლილებებს (Theurillat, Guisan, 2001). ცნობილია, რომ მაღალმთის სახეობები გენეტიკური მრავალფეროვნების მაღალი დონით გამოირჩევიან, რაც ახალი პირობებისადმი წარმატებული ადაპტაციის კარგ წინაპირობად განიხილება. თუმცა ფენოტიპური ადაპტაციები (ფიზიოლოგიურ დონეზე) ვერ უზრუნველყოფენ ევოლუციურ ადაპტაციას. კლიმატის ცვლილების შედარებით ხანმოკლე პერიოდში ტაქსონების ევოლუცია, რა თქმა უნდა, ვერ მოხდება. აკლიმაცია კი ვერ უზრუნველყოფს ახალ პირობებთან შეგუებას და მიგრაცია გახდება გარდაუვალი. იმ შემთხვევაში კი, თუ მიგრაცია შეუძლებელი იქნება – სახეობა ჰაბიტატიდან გაქრება (Grabherr et al., 1994; Theurillat, Guisan, 2001; Körner, Sphen, 2002; Walter et al., 2002). თუკი გავითვალისწინებთ ზომიერი სარტყლის მაღალმთაში (მაგ., ევროპის ალპებში) მცენარეთა ვერტიკალური გადაადგილების ძალიან დაბალ სიჩქარეს (10 მ/25 წ) (Steinger et al., 1996; Körner, 2003), ეკოსისტემებში მცენარეთა შორის ურთიერთობების დამყარებას და ამით ახალი მცენარეული თანასაზოგადოებების ჩამოყალიბებას ასწლეულები დასჭირდება. კლიმატის შეცვლა უფრო სწრაფად ხდება (და მოხდება), ვიდრე მცენარეთა შორის ახალი ურთიერთობების ჩამოყალიბება. ამიტომ დღევანდელი სახით არსებული ხანგრძლივი ევოლუციის შედეგად ჩამოყალიბებული ურთიერთობები აღარასდროს აღდგება. ვინაიდან ყოველი სახეობა გარემოს ცვლილებებს პასუხობს ინდივიდუალურად, უფრო მეტად უნდა მოველოდეთ ახალი თანასაზოგადოებების ჩამოყალიბებას, ვიდრე უკვე არსებულთა მიგრაციას (Körner, 1992, Grabherr et al., 1994; Larcher, 1995; Theurillat, 1995; Sala et al., 2000; Holten, 2003; Osenda, Borel, 2003; Walter et al., 2005a, b).

საფრთხეში მყოფი და ენდემური სახეობები განსაკუთრებით სენსიტიურთა კატეგორიას განეკუთვნებიან. ნაკლებად მობილური სახეობები (მაგ., ვეგეტატიური გამრავლების მქონე) გამოამჟღავნებენ დაგვიანებულ რეაქციას და ცვლილებებს უპასუხებენ ძალიან ნელა. მათი შემდგომი ბედი დამოკიდებული იქნება სასურველი მიკროკლიმატის მქონე მიკროჰაბიტატების მრავალფეროვნებაზე და შესაბამისად, „ხელმისაწვდომობაზე“ (Spehn, Rudmann-Maurer, 2010). სწორედ ამიტომ მაღალმთაში

კლიმატის ცვლილებით გამოწვეული სახეობათა მიგრაციის ყველა მოდელი სირთულეს აწყდება: ერთი მხრივ, ძლიერ დანაწევრებული რელიეფის გამო რთულია მიკროჰაბიტატების პირობების ადექვატური გათვალისწინება, მაგრამ, მეორე მხრივ, მაღალმთაში (განსაკუთრებით ალპური სარტყლის ზედა ნაწილში და სუბნივალურ/ნივალურ სარტყლებში) სწორედ ეკოლოგიური ნიშების უდიდესი მრავალფეროვნება იქნება ის ე.წ. მაშველი რგოლი, რომელიც მრავალ ტაქსონს გადარჩენის შანსს მისცემს. ევროპის ალპებში ახალმა თერმოგრაფულმა კვლევებმა (Scherrer, Körner, 2010, 2011; Scherrer et al., 2010) აჩვენა, რომ გლობალური კლიმატის  $2^{\circ}\text{C}$ -ით დათბობის პირობებში ჰაბიტატის დღეს არსებული ყველა ტიპის მხოლოდ 4% დაიკარგება. განსაკუთრებით მნიშვნელოვნად შემცირდება ცივი ჰაბიტატების ფართობი, რაც იმას ნიშნავს, რომ მომავალში მეტი სახეობისთვის ნაკლები სასიცოცხლო სივრცე იქნება.

2001-2008 წლებში GLORIA-ს პროექტის ფარგლებში ცენტრალური კავკასიონზე ჩატარებულმა მონიტორინგის ანალიზმა გამოავლინა ნიადაგის საშუალო ტემპერატურის, მცენარეთა დაფარულობისა და სიხშირის ცვლილება. ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურა 2001-2008 წწ იცვლებოდა სარწმუნოდ ( $P < 0.0001$ ), ყველაზე მაღალი ტემპერატურა დაფიქსირდა 2002 წელს, შემდეგ დაიკლო და უფრო სტაბილური გახდა. აღსანიშნავია, რომ 2002 წელს ამ მონაცემის განსხვავება ქვედა ჰიფსომეტრულ სიმაღლეს (CP1-2240 მ. ზღ.დ.) და ზედა სიმაღლეს (CP4-3024 მ. ზღ.დ.) შორის იყო მხოლოდ  $0.04^{\circ}\text{C}$ . როცა ამ განსხვავება უფრო ცივ 2005 წელს შეადგინა  $3.1^{\circ}\text{C}$ . ნიადაგის ტემპერატურა ასევე იცვლებოდა ექსპოზიციის მიხედვით, იგი უფრო მაღალი იყო სამხრეთ ფერდობზე, ვიდრე ჩრდილოეთზე. უფრო მნიშვნელოვანია, თუ როგორ იცვლებოდა სამონიტორინგო პერიოდში ნიადაგის საშუალო წლიური მინიმალური ტემპერატურა, რადგან ზამთრის ტემპერატურის ზრდა და მასთან დაკავშირებული თოვლის საფრის ხანგრძლივობის შემცირება დიდ გავლენას ახდენს მცენარეთა ვეგეტაციაზე (Körner, 1992, 1999). ზოგადად თოვლის საფარი მკაცრად განსაზღვრავს მაღალმთაში მცენარეთა განაწილებას. აღსანიშნავია, რომ ფოთლის ზრდა იწყება თოვლის დნობის შემდეგ 1-8 დღის ინტერვალში, ხოლო აღმონაცენის გაზრდას სჭირდება 5-16 დღე. ზამთრის ტემპერატურის მატებით

გამოწვეული თოვლის საფრის ხანგრძლივობის შემცირება უშუალოდ მოქმედებს იმ სახეობებზე, რომელთა განვითარება თოვლის დნობას მინიმალური დაგვიანებით მოსდევს.

ბოლო მონაცემებით (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/snow-cover-2/assessment>) თოვლის საფრის ხანგრძლივობა ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში შემცირდა ბოლო 90 წლის განმავლობაში, განსაკუთრებით მკვეთრად 1980 წლიდან. თოვლის მასა 1982-2012 წწ შემცირდა 7%-ით მარტის თვეში.

აღმოჩნდა, რომ ნიადაგის საშუალო წლიური მინიმალური ტემპერატურა 2001-2008 წწ თითქმის არ შეცვლილა, მხოლოდ CP1 მწვერვალზე აღინიშნა მცირე სარწმუნო მატება ( $P < 0.001$ ). მონიტორინგის პერიოდში GLORIA-ს პროექტში ჩართული რეგიონებიდან, ზოგ რეგიონში დაფიქსირდა ნიადაგის საშუალო ტემპერატურის შესამჩნევი მატება (ალპები, ხმელთაშუაზღვის რეგიონი) (Reginster et al., 2005; Pauli et al., 2007, 2012), ზოგან კი მცირე ცვლილებას ჰქონდა ადგილი. მაგალითად, 2001-2008 წწ ნიადაგის საშუალო წლიურმა ტემპერატურამ უმნიშვნელოდ მოიმატა ნორვეგიის მთიანეთში, თუმცა აქ ზამთრის ტემპერატურა საგრძნობლად გაიზარდა (Michelsen et al., 2011).

ცენტრალურ კავკასიონზე სამონიტორინგო პერიოდში ასევე არ მომატებულა ივნისის თვის ნიადაგის მინიმალური ტემპერატურა ( $t = -1.85$ ,  $df = 69$ ,  $P < 0.001$ ). ეს თვე და ეს მონაცემი მნიშვნელოვანია, რადგან ივნისის თვეში იწყება უმეტეს მცენარეთა ვეგეტაცია.

GDD კვლევამ არ გვიჩვენა ზრდის ტენდენცია. ეს მონაცემი ვარირებდა წლებისა ( $t = 0.21$ ,  $df = 13$ ,  $P = 0.089$ ) და ექსპოზიციის მიხედვით ( $P < 0.001$ ). რა თქმა უნდა სამხრეთ ფერდობზე დაფიქსირდა უფრო ხანგრძლივი ზრდის პერიოდი, ვიდრე ჩრდილოეთზე. ივნისის ნიადაგის საშუალო ტემპერატურა და GDD დადებით კორელაციაშია ნიადაგის საშუალო ტემპერატურასთან, ამიტომ ამ მონაცემების ცვლილებას წლების მიხედვით დიდი მნიშვნელობა აქვს მოცემულ რეგიონში კლიმატის ცვლილების ზოგადი სურათის მისაღებად.

2001-2008 წწ სამონიტორინგო მწვერვალებზე დაფიქსირდა სახეობათა დაფარულობისა და სიხშირის ცვლილება. ჩვენი ერთ-ერთ მიზანი იყო გაგვერკვია,

რამდენად იყო დაკავშირებული აღნიშნული ცვლილებები ნიადაგის ტემპერატურის ცვლილებასთან. სამონიტორინგო პერიოდში სახეობათა რაოდენობა გაიზარდა როგორც მწვერვალებზე (11.2 -დან 13.5-მდე) ( $t = 2.9$ ,  $df = 63$ ,  $P = 0.001$ ), ისე 18<sup>2</sup> ფართობებზე (6.9-ით ქვედა ჰიფსომეტრულ სიმაღლეზე (CP1) და 1.5-ით ზედა მწვერვალზე (CP4). გამოვლინდა სარწმუნო სწორხაზოვანი კავშირი სახეობათა სიმდიდრესა და ჰიფსომეტრულ სიმაღლეს შორის. სახეობათა სიმდიდრე ასევე დადებით კორელაციაშია ნიადაგის საშუალო ტემპერატურას, GDD ინდექსსა და სხვა ეკოლოგიურ ფაქტორებთან .

2008 წელს სახეობათა განმეორებითი მონიტორინგისას აღმოჩნდა 15 “ახალი სახეობა”, რომლებიც 2001 წელს არ შეგვხვდნენ. მხოლოდ 4 სახეობა ვერ იქნა აღრიცხული 2008 წელს. “ახალი სახეობები” ძირითადად უპირატესობას ანიჭებდნენ სამხრეთ და აღმოსავლეთ ექსპოზიციას, სადაც უფრო მაღალია ნიადაგის ტემპერატურა, მინერალიზაციის სიჩქარე და ნიადაგი უკეთესადაა განვითარებული (Erschbamer et al., 2009). ზოგადად ალპურ სარტყელში ასპექტი მნიშველოვან როლს თამაშობს სახეობათა განსახლებასა და მიგრაციაში. ბოლო შემაჯამებელი კვლევის შედეგად (Winkler et al., 2016) ევროპის გლობალურ მწვერვალებზე ტემპერატურული ჯამი და სახეობათა სიმდიდრე ზომიერ სარტყელში უფრო მაღალი იყო აღმოსავლეთ და სამხრეთ ფერდობებზე ვიდრე ჩრდილოეთ და დასავლეთ ექსპოზიციაზე, ასევე სარწმუნო იყო განსხვავება კარდინალურ ფერდობებს შორის, განსხვავებით ხმელთაშუაზღვისა და ბორეალურ რეგიონებისგან.

2008 წელს სარწმუნოდ გაიზარდა 8 სახეობის მიერ დაკავებული ფართობების რაოდენობა, მხოლოდ სამი სახეობის-შემცირდა (ძირითადად ტყის ზედა საზღვრის და ალპური რანგის სახეობები). მიგვაჩნია, რომ ყურადღება უნდა გამახვილდეს CP1 მწვერვალის ჩრდილოეთ ექსპოზიციაზე *Betula litwinowii*-ის ახალგაზრდა ინდივიდების გაჩენაზე (გრაფ. 15), იმ თვალსაზრისით, რომ ეს მოვლენა შეიძლება განხილულ იქნეს, როგორც რეგიონში სუბალპური არყნარი ტყის ერთგვარი ექსპანსიის დაწყების ინდიკატორად. თუმცა, ჩვენ ჯერ-ჯერობით ნაადრევად მივიჩნევთ მსგავს დასკვნას იქამდე, სანამ არ იქნება უტყუარი მონაცემები ტყის ზედა საზღვრის ჰიფსომეტრულ გადანაცვლებაზე შედარებით უფრო მაღალი

სიმაღლეებისკენ. ტყის თვალნათელი ექსპანსია ჩრდილოეთ ფერდობებზე (განსაკუთრებით ტყის შემორჩენილი და დაცული ფრაგმენტების მიმდებარედ) ამჟამად არსებული ჰიფსომეტრული სიმაღლის ფარგლებში რეგიონში ბევრგან აღინიშნება და იგი სავარაუდოდ, დაკავშირებულია უკანასკნელ ორ ათწლეულში ექსტენსიური მოვების მკვეთრ შემცირებასთან. სწორედ ამას უნდა გამოეწვია ახალგაზრდა და მოზარდი ინდივიდების მასობრივი დამკვიდრება და განვითარება განსაკუთრებით იქ, სადაც ამას ხელს უწყობს რელიეფის მიკროტოპოგრაფია და *Rhododendron caucasicum*-თან მყარად ჩამოყალიბებული ფაცილიტაციური ურთიერთობა (Akhalkatsi et al., 2004, 2006; Abdaladze et al., 2005; Huges et al., 2009).

სახეობათა მრავალფეროვნების ინდექსი (შენონ-ვინერის ინდექსი) ასევე ვარიირებდა სიმაღლისა და ექსპოზიციის მიხედვით. 2008 წელს CP2 მწვერვალის სამხრეთ ექსპოზიციაზე შენონ-ვინერის ინდექსმა მკვეთრად მოიმატა, ეს შეიძლება აიხსნას იმით, რომ „ახალი სახეობები“ 2008 წელს სწორედ სამხრეთ და აღმოსავლეთ ექსპოზიციის ფერდობებზე იქნა აღრიცხული.

ის ფაქტი, რომ 2008 წელს განმეორებითი მონიტორინგისას 15 „ახალი სახეობა“ აღმოჩნდა, ხოლო 4 „გაქრა“, აგრეთვე 8 სახეობის მიერ დაკავებულმა ფართობმა მოიმატა, ხოლო 3 სახეობისამ – დაიკლო და ამასთანვე, ყველა „ახალი სახეობის“ (გარდა ერთისა) რანგი იყო ტყის ზედა საზღვრისა და ალპური, შესაძლებელია საფუძვლად დაედოს მოსაზრებას: კვლევის რეგიონში ადგილი აქვს ფლორისტული კომპოზიციის გარკვეულ ფლუქტუაციებს, რომლებიც მოიცავენ სახეობებით მდიდარ შედარებით დაბალ სიმაღლეებს (CP1 და CP2 მწვერვალების სამხრეთის ექსპოზიციები) და ფაქტობრივად არ მოიცავენ ყველაზე სენსიტურ ცივ ჰაბიტატებს (CP3 და CP4 მწვერვალები), სადაც ფლორა შედარებით ღარიბია, თუმცა დიდია იშვიათ და ენდემურ სახეობათა წილი. კვლევის ამ ეტაპზე ყველა ეს ცვლილება, იმის გათვალისწინებითაც, რომ ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურა არ გაზრდილა, განხილულ უნდა იქნეს როგორც გარკვეული ლოკალური ფლუქტუაცია და არა რაიმე სუქცესიური ხასიათის მოვლენა.

GLORIA-ს პროექტის მონაცემებით, 2001-2008 წწ სახეობათა რაოდენობა გაიზარდა ევროპის რეგიონის 45 სამონიტორინგო მწვერვალებზე (ძირითადად

ბორეალური სარტყლის მთებში), შემცირდა 10 მწვერვალზე, ხოლო უცვლელი დარჩა 11 მწვერვალზე. სახეობათა საშუალო რაოდენობა მწვერვალებზე გაიზარდა 34.9 დან 37.7-მდე ( $t=2.9$ ,  $df=49$ ,  $P=0.006$ ). რეგიონების მიხედვით სახეობათა რიცხვი გაიზარდა 12 რეგიონში (საშუალოდ 75.4 დან 80.6 მდე ( $t=2.8$ ,  $df=16$ ,  $P=0.13$ )), შემცირდა 3-ში და უცვლელი დარჩა 2 რეგიონში (Pauli et al., 2012). სახეობათა რაოდენობის შემცირების მხრივ განსაკუთრებით საგანგაშო შედეგები იქნა მიღებული ხმელთაშუაზღვისპირეთის რეგიონში, სადაც ტემპერატურის მომატებას თან დაერთო ნალექიანობის შემცირება (Pauli et al., 2004, 2012). ამ რეგიონში სახეობათა რიცხვის კლება შემაშფოთებელია, რადგან მაღალია ენდემურ სახეობათა წილი. გამოითქვა ჰიპოთეზა, რომ ბორეალურ მთებში სახეობათა სიმდიდრის მატება გამოიწვია კლიმატის დათბობამ, ხოლო საპირისპირო პროცესები ხმელთაშუაზღვისპირეთში - ტემპერატურის მატებასთან ერთად, ნალექიანობის შემცირებამ (Escudero et al., 2012).

ევროპის მაღალმთაში ჩატარებულმა კვლევებმა (მაგ: ავსტრიასა და ცენტრალური ალპებში) ნათლად აჩვენა, რომ მე-20 საუკუნის მეორე ნახევარში კლიმატის დათბობამ მაღალმთაში გამოიწვია მნიშვნელოვანი ცვლილებები მცენარეთა მრავალფეროვნებაში, აღინიშნა ცალკეულ სახეობათა მიგრაცია და საფრთხე დაემუქრა ცივი ადგილების მცენარეებს (Gottfried et al., 1998; Keller et al., 2000; Grabherr et al., 2001; Walther et al., 2005a,b). ბოლო ათი წლის განმავლობაში ზოგიერთი სახეობის ჰიფსომეტრული გავრცელების ზღვარი აიწია 6.1-29.4 მეტრით (Parmesan and Yohe, 2003; Bockmühl, 2008; Lenoir et al 2008). გლორიას სამონიტორინგო მწვერვალებზე სახეობების ჰიფსომეტრული გავრცელების ზრდარი შეიცვალა საშუალოდ 2.7 მ-ით. ცენტრალური კავკასიონის სამონიტორინგო მწვერვალებზე სახეობათა რიცხვის გაზრდას და მათ მიერ ახალი ფართობების დაკავებას ვერ განვიხილავთ როგორც სახეობათა მიგრაციას. 2008 წელს მხოლოდ მთის-ტყის ზედა საზღვრის მცენარეების (რანგი-5) სიხშირე გაიზარდა სარწმუნოდ. როგორც ავღნიშნეთ, კვლევის რეგიონში არ დაფიქსირდა ნიადაგის ტემპერატურისა და GDD-ს მკვეთრი მატება. ზოგადად ალპურ სარტყელში მცენარეთა ლოკალური კოლონიზაცია უფრო სწრაფად ხდება, ვიდრე მიგრაცია (Körner, 2003). მიგრაცია დამოკიდებულია სახეობის სასიცოცხლო ფორმაზე, მრავალწლოვანი სახეობები

უფრო დიდხანს არსებობენ გარკვეულ ადგილას (Steinger et al., 1996). ამავე დროს ქვედა ჰიფსომეტრული სიმაღლიდან ზედა სიმაღლეებისკენ სახეობათა მიგრაციას უფრო დიდი დრო სჭირდება, ვინაიდან მათ უნდა გადალახონ ისეთი მნიშვნელოვანი ბარიერი, როგორიცაა ალპური სარტყელი (Pauli et al., 2007).

2001-2008 წლებში სამონიტორინგო მწვერვალებზე ასევე შეიცვალა სახეობათა დაფარულობა. 2008 წელს ხელახალი მონიტორინგისას აღმოჩნდა, რომ 17 სახეობის დაფარულობა შემცირდა, ხოლო ხუთი სახეობის-გაიზარდა. იმ სახეობებს შორის, რომელთა დაფარულობა შემცირდა მცირეა მარცვლოვნებისა და ისლების წილი. ზოგიერთი მკვლევარი (Klanderud, Totland, 2005) ვარაუდობს, რომ ეს მცენარეები უფრო გამძლე არიან კლიმატის ცვლილების მიმართ. ამ ვარაუდს ადასტურებს ჩვენს მიერ სტატისტიკური პროგრამის დომინანტობის ტესტის საშუალებით გამოვლენილი დაფარულობის მიხედვით დომინანტი სახეობები. როგორც 2001 ისე 2008 წლებში ოთხივე მწვერვალზე დომინირებდნენ მარცვლოვნები და ისლები. განსაკუთრებით მაღალი იყო *Carex tristis* სტატისტიკური პროგრამის მიერ დადგენილი სიმრავლის მაჩვენებელი (Abundance value). ის ალპური ეკოტონის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი დომინანტი სახეობაა, რომელიც ამცირებს ნიადაგის ეროზიას და განსაკუთრებით გამძლეა გარემოს სტრესული ფაქტორების მიმართ (Alatalo et al., 2014). მონიტორინგის პერიოდში ასევე არ შეცვლილა სხვა დომინანტი სახეობების (*Poa alpina*, *Festuca varia*, *Festuca airoides*, *Sibbaldia procumbens*) სიმრავლის მაჩვენებელი.

ზოგიერთი სახეობის სიმრავლე და დაფარულობის ცვლილება შეიძლება დაკავშირებული იყოს კონკურენტული ბალანსის ცვლილებასთან, თუმცა მარტო ამ მიზეზით ვერ აიხსნება CP1 და CP2 მწვერვალებზე სახეობათა დაფარულობის შემცირება. ალპური სახეობები განსხვავებულად პასუხობენ გაზაფხულზე ღამის ტემპერატურისა და თოვლის საფრის ხანგრძლივობის ცვლილებას (Gottfried et al., 2002). ნაწილობრივ ამით შეიძლება აიხსნას ზოგიერთი სახეობის დაფარულობის ცვლილება. ზოგადად ალპური სახეობები ნელა მოზარდი მცენარეები არიან, ცოტა პროცენტია მათ შორის ერთწლიანები (Körner, 2003). დაფარულობა წლიდან წლამდე ნაკლებად იცვლება, მნიშვნელოვან ცვლილებას კლიმატის ხანგრძლივი ცვლილება

სჭირდება (Pauli et al., 2003). აუცილებლად უნდა აღინიშნოს მცენარეთა დაფარულობის ცვლილებაზე მოვების გავლენა, თუმცა ეს უკანასკნელი ძალიან იშვიათია ჩვენ სამონიტორინგო მწვერვალებზე.

2001-2008 წწ ასევე ნაკლებად შეიცვალა საერთო დაფარულობა კლასტერებში. ამ მონაცემის უმნიშვნელო ცვლილება დაფიქსირდა CP1 ( $r = 0.901$ ,  $P < 0.001$ ) და CP2 ( $r = 0.823$ ,  $P < 0.001$ ) მწვერვალებზე. კლასტერების საერთო დაფარულობა მაღალ ჰიფსომეტრულ სიმაღლეზე თითქმის არ შეცვლილა და კორელაციის კოეფიციენტიც უფრო მაღალია ( $r = 0.999$ ,  $P = 0.001$ ).

სახეობათა დაფარულობიდან გამოითვალა თერმული ინდიკატორი (S) და თერმოფილიზაციის ინდექსი (D). თერმული ინდიკატორი ახასიათებს კლასტერების „თერმოფილურ“ ან „კრიოფილურ“ ხასიათს. მონიტორინგის პერიოდში ის ვარიირებდა როგორც ექსპოზიციის, ისე წლების მიხედვით. არ გამოვლენილა მისი დამოკიდებულება ჰიფსომეტრულ სიმაღლეზე ( $r = -0.185$ ). მისი ცვლილება სარწმუნო იყო  $1\text{მ}^2$  კლასტერებში ( $t = 3.2$ ,  $df = 63$ ,  $P = 0.002$ ). თერმოფილური ინდიკატორი შემცირდა ყველა მწვერვალზე. S ინდექსის გაზრდა მაშინ არის მოსალოდნელი, როცა მაღალი AR მქონე სახეობების სიხშირე იზრდება, ხოლო დაბალი AR სახეობები მცირდება, ჩვენ სამონიტორინგო ფართობებზე არ დაფიქსირებულა მგავსი ფაქტი, მხოლოდ AR5 სახეობების სიხშირე გაიზარდა სარწმუნოდ. ანალოგიური პროცესი დაფიქსირდა სამხრეთ ალპებში (Petriccione 2005, Di Pietro et al. 2008).

სტატისტიკური პროგრამის რეგრესიული ანალიზის საშუალებით დადგინდა, რომ თერმული ინდიკატორის ცვლილება 2008 წელს 2001 წელთან შედარებით, ანუ თერმოფილიზაციის ინდექსი (D) უარყოფითია ( $r = -0.241$ ). თუმცა ეს მონაცემი არ არის ბოლომდე სარწმუნო. D ინდექსის ვარიაცია შეიძლება გამოწვეული იყოს როგორც პოპულაციის სხვადასხვა ასაკით, ისე დაფარულობის ვიზუალური შეფასებისას გარკვეული ცდომილებით. უნდა აღინიშნოს, რომ D ინდექსი დადებითია ევროპის 16 რეგიონში 17-დან და და 42 მწვერვალზე 60 მწვერვალიდან (Gottfried et al., 2012). ის სარწმუნო კორელაციაშია ზამთრის ნალექების რაოდენობასთან. ზოგიერთ რეგიონში მიღებული სადავო მონაცემი (მაგ., ნორვეგიის მთიანეთში D ინდექსი მიიღეს დადებითი, ხოლო შოტლანდიის რეგიონში უარყოფითი, მაშინ როცა

ცნობილია, რომ ევროპის ჩრდილოეთში კლიმატის დათბობის მაჩვენებელი საკმაოდ მაღალია) სწორედ ზამთრის ნალექების ცვლილებით ახსნეს. შოტლანდიაში მკვეთრად შემცირდა ზამთრის ნალექები. ცენტრალურ კავკასიონზე ბოლო დეკადის განმავლობაში ზამთრის ნალექების მნიშვნელოვან შემცირებას ადგილი არ ჰქონია. ჩვენ სამონიტორინგო მწვერვალებზე D ინდექსის არამკვეთრი ცვლილება და თერმული ინდიკატორის შემცირება გვამღევს საფუძველს ვიფიქროთ, რომ ცენტრალურ კავკასიონზე კლიმატის დათბობა რა მომხდარა. Pauli et al., 2012 მიხედვით D ცვლილება უფრო სარწმუნო იყო კონტინენტურ დონეზე, ვიდრე მწვერვალებზე.

ორდინაციულმა ანალიზმა ასევე გამოავლინა, რომ S ინდექსი დადებით კორელაციაშია GDD-სა და ივნისის მინიმალურ ტემპერატურასთან სარწმუნოების სხვადასხვა მაჩვენებლით. ეს ორი ფაქტორი ხშირად ჩნდება ლიტერატურაში, როგორც ალპური მცენარეულობის მნიშვნელოვანი ეკოლოგიური ფაქტორი (Körner, 2002, 2003, 2009, 2011; Larcher, 2012). ზრდის სეზონი (GDD) როგორც თოვლისგან თავისუფალი პერიოდი თესლის აღმოცენებისთვის, ხოლო ივნისის ტემპერატურა კი მნიშვნელოვანია აღმონაცენის ზრდისთვის. ორივე მაჩვენებელი დამოკიდებულია ნიადაგის ტემპერატურაზე და მონიტორინგის პერიოდში მათი ზრდა აუცილებლად მოახდენდა გავლენას თერმული ინდიკატორის ინდექსზე და გამოიწვევდა სახეობათა მიგრაციას დაბალი სიმაღლეებიდან. 2001-2008 წლებში არ დაფიქსირებულა ამ ორი მაჩვენებლის ზრდის ტენდენცია.

ოთხივე მწვერვალზე აღწერილი სახეობებიდან 36% კავკასიის ენდემია. GLORIA-ს პროექტში ჩართული ზოგიერთ რეგიონის მაღალმთაში (სიერა ნევადას მთიანეთი, ცენტრალური აპენინები, ჩრდილოეთ ალპები) ენდემური სახეობების წილი მატულობს ჰიფსომეტრული სიმაღლის ზრდასთან ერთად (Noroozi et al., 2011). კავკასიონის მაღალმთაში ენდემურ სახეობათა წილი მაღალია სუბნივალურ ზონაში (Nakhutsrishvili, 1998, Nakhutsrishvili et al., 2006). ცნობილია, რომ კლიმატის მნიშვნელოვანი ცვლილება აზიანებს ენდემური სახეობების პოპულაციებს. მონიტორინგის პერიოდში არ დაფიქსირებულა ენდემური სახეობების დაფარულობისა და სიხშირის მნიშვნელოვანი ცვლილება, განსხვავებით სხვა

რეგიონებისგან. მაგალითად, ირანის სუბნივალური და ნივალური სარტყლის „ცივი ადგილების“ მცენარეები სერიოზულად დაზიანდნენ ბოლი ათი წლის მანძილზე, ხოლო ენდემური სახეობების რიცხვი შემცირდა 20 %-ით (Noroozi et al., 2010b).

სტატისტიკური პროგრამის ინდიკატორული ანალიზის ტესტის საშუალებით ოთხივე ექსპოზიციაზე გამოვლინდა დაფარულობის მიხედვით ინდიკატორი სახეობები და მათი ინდიკატორული მაჩვენებელი (IV). სახეობების ინდიკატორული მაჩვენებელი პირველად გამოიყენა ელენბერგმა (Ellenberg, 1950). ის გამოყოფდა სახეობებს სხვადასხვა ეკოლოგიური ფაქტორების მიხედვით (განათება, ნიადაგის ტენიანობა, ტემპერატურა, pH). სტატისტიკური ტესტი კი ავლენს ინდიკატორ სახეობებს დაფარულობისა და იმ ეკოლოგიური ფაქტორების მიხედვით, რომლებიც ჩვენი მონიტორინგისას არის გაზომილი, როგორცაა ნიადაგის საშუალო ტემპერატურა, მინიმალური ტემპერატურა, GDD. ინდიკატორი სახეობების ფარდობითი სიმრავლე და სიხშირე გარკვეულ ექსპოზიციაზე იყო მაღალი (75-100%), როცა სხვა ფერდობზე ეს მაჩვენებლები ნულს უდრიდა. ასევე მაღალი იყო ამ სახეობების ინდიკატორული მაჩვენებელი (75-100). ინდიკატორი სახეობებიდან ოთხი კავკასიის ენდემია. მაგ: *Vicia cracca* CP1 მწვერვალის დასავლეთ ექსპოზიციის ინდიკატორად გამოვლინდა. ლიტერატურის (Hill et al., 1999) მიხედვით ის ძირითადად განათებულ ადგილებში გვხვდება. *Empetrum nigrum*-კი CP1 ჩრდილოეთ ექსპოზიციის ინდიკატორია, ის მართლაც ტენიან ადგილებში იზრდება.

ჩვენი ერთ-ერთი ამოცანა იყო იმის გარკვევა, თუ რამდენად შეიცვალა 7 წლის მანძილზე ინდიკატორი სახეობების ინდიკატორული მაჩვენებელი, განსაკუთრებით CP4 ჩრდილოეთ ექსპოზიციაზე, რადგან კლიმატის დათბობა უფრო მეტად აზიანებს ცივი ადგილების მცენარეებს (Körner, 2009). აღმოჩნდა, რომ 2008 წელს ააღნიშნულ სახეობათა ინდიკატორული მაჩვენებელი არ შეცვლილა, მხოლოდ CP2 მწვერვალზე გამოიყო ახალი ინდიკატორი სახეობა (*Campanula tridentata*).

## დასკვნები და რეკომენდაციები

ცენტრალურ კავკასიონზე (ყაზბეგის რეგიონი, ჯვრის უღ. მიდამოები) GLORIA-ს პროექტის კვლევის ადგილების პერმანენტულ ნაკვეთებზე (1მ<sup>2</sup>-იან კლასტერებში) პირველი სამონიტორინგო ციკლის (2001-2008 წწ) ფაქტობრივი მასალის ანალიზის საფუძველზე შესაძლებელია დავასკვნათ:

- 1) ნიადაგის საშუალო წლიურ ტემპერატურაში მეტ-ნაკლებად მნიშვნელოვანი ცვლილებები არ აღინიშნება. მიუხედავად იმისა, რომ ტემპერატურა განსაკუთრებით მაღალი იყო 2002-2003 წლებში, მან შემდეგ დაიკლო და სტაბილური გახდა;
- 2) ივნისის მინიმალური ტემპერატურამ და ზრდის სეზონის ხანგრძლივობამ (GDD) ასევე არ გამოავლინა ზრდის ტენდენცია. ეს ორი მაჩვენებელი დადებით კორელაციაშია ნიადაგის საშუალო ტემპერატურასთან;
- 3) თერმული ინდიკატორი (S ინდექსი) სარწმუნოდ ვარიირებდა სიმაღლისა და ექსპოზიციის მიხედვით, თუმცა არ დაფიქსირდა მისი კორელაცია ჰიფსომეტრულ სიმაღლესთან. ის ყველა მწვერვალზე შემცირდა. თერმოფილიზაციის ინდექსი (D) უარყოფითი იყო და ნაკლებდ სარწმუნო, რაც თერმოფილიზაციის ზოგადად დაბალ ხარისხზე მეტყველებს;
- 4) შეიცვალა სახეობათა დაფარულობა და სიხშირე. 2008 წელს დაფიქსირდა 15 „ახალი სახეობა“ (უპირატესად სამხრეთ ფერდობზე) რომელთა აბსოლუტური უმრავლესობა ტყის ზედა სარტყლის და ალპური რანგის იყო, „გაქრა“ 4 სახეობა, 8 სახეობის მიერ დაკავებულმა ფართობმა მოიმატა, ხოლო 3 სახეობისამ - დაიკლო;
- 5) ახალმა სახეობებმა ძირითადად სამხრეთი და აღმოსავლეთი ფერდობები დაიკავეს. შემაჯამებელმა კვლევამ აჩვენა, რომ ზომიერ სარტყელში ასპექტი მნიშვნელოვან როლს თამაშობს სახეობათა განსახლებაში.
- 6) მარცლოვნები და ისლები ყველაზე უფრო სტაბილურები არიან ლოკალური კლიმატური ცვლილებების მიმართ. მათი დაფარულობა და სიმრავლის მაჩვენებლები თითქმის არ იცვლება მონიტორინგის პერიოდში.
- 7) არ შეცვლილა ინდიკატორი სახეობების ფარდობითი სიხშირე და ინდიკატორული მაჩვენებელი;

8) ენდემური და ცივი ჰაბიტატების სახეობები არ იმყოფებოდნენ საფრთხის ქვეშ .

9) ფლორისტული კომპოზიციის გარკვეული ფლუქტუაციები მოიცავენ სახეობებით მდიდარ შედარებით დაბალ სიმადლეებს (ტყის ზედა საზღვრის ეკოტონისა და ზედა ალპური სარტყლის სამხრეთი ექსპოზიციები) და ფაქტობრივად არ ფიქსირდება ყველაზე სენსიტიურ ცივ ჰაბიტატში (ზედა ალპური და სუბნivalურ/ნივალური სარტყლები), სადაც იშვიათ და ენდემურ სახეობათა წილი განსაკუთრებით დიდია;

ამრიგად, კვლევის ამ ეტაპზე ყველა ეს ცვლილება, იმის გათვალისწინებითაც, რომ ნიადაგის საშუალო წლიური ტემპერატურა, ივნისის მინიმალური ტემპერატურა და ზრდის სეზონის ხანგრძლივობა არ გაზრდილა, განხილულ უნდა იქნეს როგორც გარკვეული ლოკალური ფლუქტუაცია და არა რაიმე სუქცესიური ხასიათის მოვლენა.

## ბიბლიოგრაფია

1. აბდალაძე ო. (2011) “საქართველოს ალპურ მცენარეთა ფუნქციური მრავალფეროვნება და კლიმატის გლობალური ცვლილება”, წიგნში: *საქართველოს ბიომრავალფეროვნება*. რედ. გ. ნახუცრიშვილი, (თბილისი: საქართველოს ეროვნული აკადემიის გამომც., 15–18.
2. აბდალაძე ო., რ. გობეჯიშვილი, გ. ნახუცრიშვილი, ვ. ნეიძე , (1998) *ხევი* (თბილისი).
3. გაგნიძე რ. (1999) “საქართველოს ფლორის მრავალფეროვნება”. წიგნში: *საქართველოს ბიოლოგიური და ლანდშაფტური მრავალფეროვნება*, რედ-ები ბერუჩაშვილი ნ., კუმლინი ა., ზაზანაშვილი ნ. (თბილისი: I ეროვნული კონფერენციის მასალები, მაისი)
4. გიგაური ხ., მ. ახალკაცი, გ. ნახუცრიშვილი, ო. აბდალაძე, (2011), „თერმოფილიზაციის პირველი სუსტად გამოხატული ნიშნები ცენტრალური კავკასიონის GLORIA-EUROPE-ს სამონიტორინგო ქსელის საკვლევ მწვერვალებზე (GE-CAK13)“. წიგნში: *საქართველოს ბიომრავალფეროვნება*. რედ. გ. ნახუცრიშვილი (თბილისი: საქართველოს ეროვნული აკადემიის გამომცემლობა, 19–22.
4. კორნერი ქ. (2008) *ალპურ მცენარეთა ეკოლოგია*, (თბილისი: ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა).
5. ლარხელი ვ. (2006) *მცენარეთა ეკოლოგია*, (თბილისი: უნივერსალი)
6. მარუაშვილი ლ. (1969) *საქართველოს ფიზიკური გეოგრაფია, ნაწ. I*, (თბილისი: სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა.
7. ნახუცრიშვილი გ., ო. აბდალაძე, ნ. ზაზანაშვილი, თ. გამყრელიძე, მ. ჭიბოშვილი, (1999) *კავკასიის მაღალმთის მცენარეულობის ტრანსფორმაცია კლიმატის გლობალურ ცვლილებასთან კავშირში. – გაეროს ჩარჩო კონვენციის კლიმატის ცვლილების ეროვნული ბიულეტენი. № 8*, (თბილისი), 87–100.

8. ნახუცრიშვილი გ. (2000) „საქართველოს ძირითადი ბიომები“, წიგნში: საქართველოს ბიოლოგიური და ლანდშაფტური მრავალფეროვნება. I ეროვნული კონფერენციის მასალები, რედ-ები ბერუჩაშვილი, ნ., კუმლინი, ა., ზაზანაშვილი, ნ. (თბილისი), 43-67.
9. საბაშვილი მ. (1965) საქართველოს სსრ ნიადაგები. (თბილისი: გამომცემლობა მეცნიერება).
10. საქართველოს მცენარეთა სარკვევის I ,1964 და II ტომები, (თბილისი: მეცნიერებათა აკადემიის გამომცემლობა 1969).
11. საქართველოს გარემოს დაცვისა და ბუნებრივი რესურსების სამინისტრო/ UNDP საქართველოს მეორე ეროვნული შეტყობინება გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისათვის, (თბილისი, 2009), 230
12. სახოკია მ. (1983) ხევის სათიბ-საძოვრების აგრობოტანიკური მიმოხილვა და გაუმჯობესების ღონისძიებები, (თბილისი : გამომცემლობა მეცნიერება, .
3. ურუშაძე თ. (1997) საქართველოს ძირითადი ნიადაგები, (თბილისი: გამომცემლობა „მეცნიერება“)
14. Abdaladze O., G. Nakhutsrishvili, M. Akhalkatsi, W. K. Smith, (2005) „Treeline Ecotone Structure and Some Ecological Features of *Betula litwinowii* in the Central Greater Caucasus“, *Processing of Georgian Academy Science*. vol.3 (2): 57-65.
15. Agakhahyanz O., & Breckle S., (1995) “Origin and evolution of the mountain flora in middle Asia and neighbouring mountain region“, in *Arctic and alpine biodiversity: Patterns, causes and ecosystem consequences*, eds. Chapin, F., Körner, C. Ecological studies 113, (Berlin Heidelberg New York: Springer, 63-83.
16. Akhalkatsi M., O. Abdaladze, G. Nakhutsrishvili, W. K. Smith, (2004) “Global warming effect on birch seedling establishment at treeline in the Central Caucasus“, *Botanikertagung*: 5-11.

17. Akhalkatsi M., O. Abdaladze, G. Nakhutsrishvili, W. K. Smith, (2006) „Facilitation of Seedling microsites by *Rhododendron caucasicum* Extends the *Betula litwinowii* Alpine Treeline, Caucasus Mountains, Republic of Georgia“, *Arctic, Antarctic and Alpine Research* vol. 38: 481-488.
18. Bakkenes M., J.R. M. Alkemade, F. IHLE, R. Leemans, J.B. Latour, (2002) “Assesing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050”, *Global Change Biology* 8: 390-407.
19. Barthlott W., W. Lauer & A. Placke, (1996) “Global distribution of species diversity in vascular plants: towards a world map of phytodiversity “, *Erdkunde* 50: 317-327.
20. Barthlott W., J. Mutke, M.D. Rafigpoor, G. Kier, H. Kreft, (2005) “Global Centers of vascular plant diversity”. *Nova Acta Leopoldina*, 92: 61-83.
21. Bartlott W., A. Hoster, G. Kier, W. Küper, H. Kreft, J. Mutke, M.D. Rafigpoor, H. Sommer, (2007) “Geographic patterns of vascular plant diversity at continental to global scales”, *Erdkunde*, 6: 1305-315.
22. Becker A. & Bugmann H., (1997) “Predicting global change impacts on mountain hydrology and ecology: Integrated catchmenthydrology/altitudinal gradient studies, Workshop Rep Documentation resulting from an International Workshop Kathmandu, Nepal, 30 March - 2 April 1996 .IGBP Report 43. Stockholm: IGBP Secretariat. The Royal Swedish Academy of Sciences.
23. Becker A. & Bugmann H., (1999) Global change and mountain regions – initiative for collaborative research. (IGBP Mountain Research Initiative,), 52
24. Bockmühl K. (2008) *Comparing species-temperature relationships of arctic-alpine plants among three altitudinal transects in Svalbard*. (Norway: University of Bergen).
25. Burga C. A., F. Klötzli & G. Grabherr, (2004) *Gebirge der Erde. Landschaft, Klima, Pflanzenwelt*, (Stuttgart: Ulmer Verlag,).

26. Callaway R. M. (1998) "Competition and facilitation on elevation gradients of the northern Rocky Mountains, USA". *OIKOS* 82: 561-573.
27. CEC, (2007) *Limiting Global Climate Change to 2 Degrees Celsius. The Way ahead for 2020 and beyond* (Brussels: Commission of the European Communities).
28. Cernusca A., U. Tappeiner, A. Bayfield, (1999) *Ecological effects of land-use change in European mountain ecosystems (ECOMONT): Concept and results*. (Berlin: Blackwell)
29. Czerepanov S. K. (1995) *Vascular plants of Russia and adjacent states*, (USSR: Komarov botanical institute of the Russian academy of sciences).
30. Dolukhanov A.G. (1978) "Timberline and subalpine belt in Caucasus Mountains". *Arctic and Alpine Research* 2, no.10: 409-422.
31. Dosio A., P. Paruolo and R. Rojas, (2012) "Bias correction of the ENSEMBLES high resolution climate change projections for use by impact models: Analysis of the climate change signal" *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 117:117 -141.
32. Dufrene M. and P. Legendre, (1997) "Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach", *Ecological Monographs* 67: 345-366.
33. Dullinger S., T. Dirnbäck & G. Grabherr, (2004) "Modelling climate change- driven treeline shifts: relative effects of temperature increase, dispersal and invasibility", *Journal of Ecology* 92: 241- 252.
34. Dullinger S., I. Kleinbauer, H.Pauli, M. Gottfried, Ch. Klettner, R. Brooker, L. Nagy, J-P. Theurillat, J.I. Holten, O. Abdaladze, J-L. Benito, J-L. Borel, G. Coldea, D. Ghosn, R. Kanka , A. Merzouki, P. Moiseev, U. Molau, K. Reiter, G. Rossi, A. Stancisi, M. Tomaselli, P. Unterlugauer, G. Grabherr (2007) „Weak and variable relationships between environmental severity and small-scale co-occurrence in alpine plant communities“. *Journal Ecology* 95: 1284-1295.

35. Elizbarashvili ESh., TF. Urushadze, ME. Elizbarashvili, ShE. Elizbarashvili, MK. Schaefer (2010) "Temperature Regime of Some Soil Types in Georgia". *Eurasian Soil Science* 43: 427–435.
36. Ellenberg H. (1950) *Landwirtschaftliche Pflanzensociologie I: Unkrautgemeinschaften als Zeiger für Klima und Boden*. Ulmer, Stuttgart.
37. Erschbamer B., T. Kiebacher, M. Mallaun, P. Unterluggauer (2009) "Short-term signals of climate change along an altitudinal gradient in the South Alps". *Journal Ecology* 202 :79-89.
38. Erschbamer B., M. Mallaun M, P. Unterluggauer, G. Nakhutsrishvili, M.Akhalkatsi, O. Abdaladze (2013) „Plant diversity along altitudinal gradients in the Central Alps and in the Central Caucasus: The project GLORIA in south Tyrol (Italy) and in the Kazbegi region (Georgia) "in *Camerino: Colloques Phytosociologiques, XXIX*, ed F. Pedrotti (Italy), 167-188.
39. Erschbamer B., P. Unterluggauer, G. Nathutsrishvili, O. Abdaladze, M. Akhalkatsi (2010) "Plant diversity along altitudinal gradients in the central alps (South Tyrol, Italy) and in the central greater Caucasus (Kazbegi region, Georgia)". *Tuexenia* 30 no.1: 11-29
40. Erschbamer B., P. Unterluggauer, E. Winkler, M. Mallaun (2011) "Changes in plant species diversity revealed by long-term monitoring on mountain summits in the Dolomites (northern Italy)". *Preslia* 83: 387-401.
41. Escudero A., R. Carcia-Camacho, a. Garcia –Fernandes, R.G. Gavilan, L. Gimenes-Benavides, J.M. Iriondo, C. Lara–Romero, J. Morente, D.S. Pescador, (2012) „Vulnerabilidad al cambio global en la alta montaña mediterránea“. *Ecosistemas* 21 no.3: 63-72.
42. Frey W. and R. Lösch, (2004) *Lehrbuch der Geobotanik. Pflanze und Vegetation in Raum und Zeit*. 2 Auflage (The Netherlands: ELSEVIER Spektrum Akademischer verlag)
43. Gagnidze R., (2005). *Vascular plants of Georgia: A Nomenclatural Checklist*. (Tbilisi: Universal).

44. Gottfried M., Pauli H. & Grabherr G. (1994) "Die Alpen im Treibhaus. Nachweise für das erwärmungsbedingte Höhersteigen der alpinen und nivalen Vegetation". *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt* 59:13-27.
45. Gottfried M., H. Pauli, K. Reiter & G. Grabherr (1999) „A fine-scaled predictive model for change in species distribution patterns of high mountain plants induced by climate warming” *Diversity Distribution* 5: 241-251.
46. Gottfried M., H. Pauli, A. Futschik, M. Akhalkatsi, P. Barancok, JLB. Alonso, G. Coldea, J. Dick, B. Erschbamer, M. R. F. Calzado, G. Kazakis, J. Krajci, P. Larsson, M. Mallau, O. Michelsen, D. Moiseev, P. Moiseev, U. Molau, A. Merzouki, L. Nagy, G. Nakhutsrishvili, B. Pedersen, G. Pelino, M. Puscas, G. Rossi, A. Stanisci, J-P. Treurillat, M. Tomaselli, L. Villar, P. Vittoz, I. Vogiatzakis, G. Grabherr. (2012) "Continent-wide response of mountain vegetation of climate change". *Nature Climate Change* 2:111-115
47. Govaerts, R. D., G. Frodin, A. Radcliffe-Smith, (2000) *World Checklist and Bibliography of Euphorbiaceae (with Pandaceae)*, Richmond: Royal Botanical Garden, 178-201.
48. Grabherr G. (2009) „Biodiversity in the high ranges of the Alps: Ethnobotanical and climate change perspectives”. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 19:167-172.
49. Grabherr G., M. Gottfried & H. Pauli (2001) "High mountain environment as indicator of global change", in *Global change and Protected Areas*. Eds. Viskconti G., Beniston M. Iannorelli E. D. & Barba D. (Boston, London: Kluwer Academy Publishing), 331-346.
50. Grabherr G., M. Gottfried, and H. Pauli (1994) "Climate effects on mountain plants". *Natur* 369 : 448-448.
51. Grabherr G., M. Gottfried M, and H. Pauli (2001) "Long-term monitoring of mountain peaks in the Alps", in *Biomonitoring: General and applied aspects on regional and global scales*, eds. Burga C.A. and Kratochwil A. Tasks for Vegetation Science, Kluwer, Dordrecht., 153-177.

52. Grabherr G., M. Gottfried, A. Gruber & H. Pauli (1995) "Patterns and Current Changes in Alpine Plant Diversity", in *Arctic and Alpine Biodiversity: Patterns, Causes and Ecosystem Consequences. Ecological Studies*, eds. Chapin III, F. S. and Körner, C. Berlin: Springer, 113: 167-181.
53. Grabherr G.; M. Gottfried, H. Pauli (2000) "GLORIA: A Global Observation Research Initiative in Alpine Environments", *Mountaint Research Development* 20, no.2 : 190-191
54. Grabherr, G., M. Gottfried & H. Pauli, (2010) "Climate change impacts in alpine environments" *Geography Compass*, 4:1133–1153.
55. Gugerli F., K. Eichenberger, J.J. Schneller (1999) „Promiscuity in populations of the cushion plant *Saxifraga oppositifolia* in the swiss Alps as inferred from random amplified polymorphic DNA (APD)", *Molecular Ecology* 8: 453-461.
56. Guisan A. & Theurillat J.P. (2001) "Assesing alpine plant vulnerability to climate change: a modeling perspective", *Integrated Assesment* 1: 307-320.
57. Hedberg O. (1969) "Evolution and speciation in a tropical mountain flora", *Biological Journal of Linnean Society* 1:135-148.
58. Hill M. O., J. Mountford, D. Roy, (1999) *Ellenberg's indicator values for British Plants*. Bunce ISBN.
60. Holten, J. I. (2003) "Altitude ranges and spatial patterns of alpine plants in Northern Europe", in *Alpine Biodiversity in Europe*, eds. Nagy L., Grabherr G., Körner Ch. & Thompson D. B. A., *Ecological studies: analysis and synthesis* 167:173-184.
61. Houghton J.T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Nougier M, P. J. Van der Linden, X. Dai, K. Maskell & C.A. Johnson,(2001).*Climate change 2001: the scientific basis. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working group I*. (Cambridge: Cambridge University Press.

62. Hughes M.N., D. M. Johnson, M. Akhalkatsi, O. Abdaladze (2009) "Characterizing *Betula litwinowii* Seedling Microsites at the Alpine-Treeline Ecotone, Central Greater Caucasus Mountains, Georgia" *Arctic Antarctic and Alpine Research* 41, no.1: 112–118.
63. IGBP, (1990) *The International Geosphere-Biosphere Programme: A Study of Global Change of the International Council of Scientific Unions (ICSU) in collaboration with the Commission on Atmospheric Chemistry and Global Pollution of the International*, (Stockholm: Association of Meteorology and Atmospheric Physics.
64. IPCC, (2000) *Intergovernmental Panel of Climate Change, Climate change 2001. Synthesis Report*. (Cambridge: Cambridge University Press.
65. IPCC, (2007) *Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (Geneva, Switzerland, IPCC.
66. Ivanishvili M. (1998) „The thorn-Cushion Vegetation in the Caucasus”, in: *Plants Life in High-Mountains*, eds. Nakhutsrishvili G., Abdaladze O. (Tbilisi: Diogen), 43-50.
67. Jonas T., CH. Rixen, M. Sturm M and V. Stoeckli, (2008) "How alpine plant growth is linked to snow cover and climate variability". *Journal of Geophysic Research* Vol. 113: Doi: 10.1029/2007JG000680
68. Kennedy K.A. & Addison P.A. (1987) "Some considerations for the use of visual estimates of plant cover in biomonitoring". *Journal of Ecology* 75:151-157.
69. Kent M. and P. Coker, (1992) *Vegetation Description and Analysis: a Practical Approach*. (London: Belhaven Press).
70. Ketskhoveri N., A. Kharadze, M. Ivanishvili & R. Gagnidze, (1975) *Botanical description of the Georgian Military Road (Tbilisi- Kazbegi- Ordjoniokidze)*. Tbilisi: Institute of Botany, Georgian Academy of Sciences.

71. Kikvidze Z., G. Nakhutsrishvili, (1998) "Facilitation in subnival vegetation patches". *Vegetation Science* 9: 261-264.
72. Kikvidze Z., F.I. Pugnaire, R. W. Brooker, P. Choler., C.J. Lotrie, R. Michalet & R.M. Callaway, (2005) "Linking patterns and processes in alpine plant communities: a global study". *Ecology* 86: 1395-1400.
73. Klanderud K. & H. J. B. Birks, (2003) "Recent increases in species richness and shifts in altitudinal distributions of Norwegian mountain plants". *The Holocene*, 13: 1-6.
74. Körner Ch. & W. Larcher, (1988) *Plant life in cold climates*. (Cambridge: The Company of Biologists Limited, 25 – 57.
75. Körner Ch. (1992) „Response of alpine vegetation to global climate change“. *CATENA Suppl* 22: 85-96.
76. Körner Ch. (1994) „Impact of atmospheric changes on high mountain vegetation“, in: *Mountain environments in changing climates*, ed. Beniston, M. London: Routledge, 155-166.
77. Körner Ch. (1995) "Alpine plants diversity: a global survey and functional interpretations", in: *Arctic and alpine biodiversity: patterns, causes and ecosystem consequences*, eds. Chapin FS III, Körner Ch. Ecological studies, vol 113. (Berlin: Springer-Verlag), 45-62.
78. Körner Ch. (1998a): "Are-assesment of higt elevation treeline positions and their explanation". *Oecologia* 115: 445-459.
79. Körner Ch. (1999). *Alpine Plant Life*. (Berlin: Springer-Verlag)
80. Körner Ch. (2002) "Mountain biodiversity, its causes and function: an overview", in: *Mountain biodiversity. A global assessment*, eds. Körner Ch, Spehn EM (New York: Parthenon), 3-20.
81. Körner Ch. (2003) *Alpine plants life: functional plant ecology of high mountain ecosystems*. 2<sup>nd</sup> edition, (Berlin: Springer Verlag).

82. Körner Ch. (2004a) "Mountain Biodiversity, Its Causes and Function". *Ambio* Special Report 13:11-17
83. Körner Ch. (2009) Mountain vegetation under environmental change. In: Jandl R, Borsdorf A, Van Meigroet H, Lackner R, Psenner R, editors. Global change and sustainable development in mountain regions. Innsbruck, AT: Innsbruck University Press, pp.25-30.
84. Körner Ch. (2012a) *Alpine Treelines: Functional ecology of the global high elevation tree limits*. (Basel-London: Springer).
85. Körner Ch. (2012b) "Biological diversity – the essence of life and ecosystem functioning". *Nova Acta Leopoldina* 116, no. 394:147-159.
85. Körner Ch. (2013) "Alpine ecosystems", in: *Encyclopedia of biodiversity*, ed. S.A. Levin (Amsterdam: Elsevier), 148-157.
86. Körner Ch. (2014) "Mountain ecosystems in a changing environment". *eco.mont - Journal on Protected Mountain Areas Research* 6: 71-77.
87. Körner Ch., M. Ohsawa, E. Spheeris, E. Berge, H. Bugmann, B. Groombridge, L. Hamilton, T. Hofer, J. Ives, N. Jodha, B. Messerli, J. Pratt, M. Price, M. Reasoner, A. Rodgers, J. Thonell, M. Yashina, J. Baron, R. Barry, J. Blasis, R. Bradley, R. Hofstede, V. Kapos, P. Leavitt, R. Monson, L. Nagy, D. Schindler, D. Vinebrooke, T. Watanabe, (2005) "Mountain systems", in: *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*, eds. Hassan R., Scholes R., N. Ash, Vol. 1, (Washington: Island Press), 881-716.
88. Körner Ch., and E. Spehn, (2002) *Mountain biodiversity: A global assessment*. (London: Parthenon Publishing Group).
89. Körner Ch. (2011) "Coldest places on earth with angiosperm plant life". *Alpine Botany* 121: 11-22.
90. Krebs C. J. (1989) *Ecological methodology*, (New York: Harper and Row, Publishers).
91. Larcher W. (1995) "Gas exchange in plants" in: *Physiological plant ecology*, ed. W. Larcher. 3rd edition (Berlin: Springer), 74-128.

92. Larcher W. (2003) *Physiological plants ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*, 4 th edn. (Berlin, Heidelberg, New York: Springer).
93. Larcher W. (2012) "Bioclimatic temperatures in the High Alps", in: *Plants in alpine regions: Cell physiology of adaptation and survival strategies*, ed. C. Lütz (Berlin: Springer), 21-27.
94. Larcher W. and G. Nakhutsrishvili, (1982) "On pheno and thro rhythmotypes of high mountain plants". *Ekologia*, 4: 13-20.
95. Larcher W., C. Kainmüller, J. Wagner, (2010) "Survival types of high mountain plants under extreme temperatures". *Flora* 205, no.1: 3-18.
96. Magurran A.E. (1988) *Ecological diversity and its measurement*. (Princeton: Princeton University Press)
97. McCarthy J.J., O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken & K.S. White, (2001) *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working group II. (Cambridge: Cambridge University Press).
98. Messerli, B. & J. D. Ives, (1997) *Mountains of the World: A Global Priority*, (London: Parthenon Publishing Group).
99. Molau U and P. Mølgaard, (1996) *ITEX manual*, 2<sup>nd</sup> ed. (Copenhagen: Danish Polar Center).
100. Mutke J. and W. Barthott, (2005) "Patterns of vascular plant diversity at continental to global scales". *Biologische Skrifter* 55: 521-531.
101. Nagy L. and G. Grabherr G. (2009) *The Biology of Alpine Habitats*. (Oxford: Oxford University Press).
102. Nakhutsrishvili G. (1998) "The vegetation of the subnival belt of the Caucasus Mountains". *Arctic and Alpine Research* 30: 222-226.

103. Nakhutsrishvili G. (2013) *The vegetation of Georgia (South Caucasus)*. Heidelberg-London: Springer.
104. Nakhutsrishvili G., & P. Ozenda, (1998) „Aspects geobotaniques de la haute montagne dans le Caucase. Essai de comparaison avec les Alpes ». *Ecologie* 29:139-144.
105. Nakhutsrishvili, G. (1999) “The vegetation of Georgia (Caucasus)”. *Braunn-Blanquetia* 15: 5-74
106. Nakhutsrishvili G. & R. Gagnidze (1999) “Die subnival und nival Hochgebirgsvegetation des Kaukasus". *Phytocoenosis* 11:173-183.
107. Nathutsrishvili G. (2001) “Georgia’s Basis Biomes”. In: Biological and Landscape Diversity of Georgia. WWF The World Bank, Tbilisi.
108. Nathutsrishvili G. (2003) “High mountain vegetation of the Caucasus Region”, in: *Alpine Biodiversity in Europe*, eds. Nagu, L., Grabherr, G., Körner, C. & Thompson, D. B. A. Ecological Studies, (Berlin, New York: Springer),93-103.
109. Nakhutsrishvili G., O. Abdaladze, N. Zazanashvili, T. Gamkrelidze, M. Chiboshvili (1999a) “Excepted transformation of high-mountain vegetation of the Caucasus in connection with possible global climate change”, in: *Georgia’s Initial National Communication under the UN framework Convention on Climate Change*, eds. T. Gzirishvili, B. Beritashvili (Tbilisi: UNDP/GEF), 77-88.
110. Nathutsrishvili G., O. Abdaladze, M. Akhalkatsi, (2004a) „Concerning the Tree Line Vegetation of the Kazbegi Region (the Central Caucasus)“ *Bulletin of Georgian Academy of Science*. vol. 169, no.1: 122-125.
111. Nathutsrishvili G., O. Abdaladze, M. Akhalkatsi, (2004b) “Global warming and Treeline”, *Processing of Academy of Science, Biological Serie B*, 2, no.3: 87-90.
112. Nathutsrishvili G., O. Abdaladze, A. Kikodze (2005), *Khevi, kazbegi Region*. Tbilisi.

113. Nakhutsrishvili G., O. Abdaladze, M. Akhalkatsi, (2006) "Biotope types of the treeline of Central Greater Caucasus", in: *Nature Conservation (Concepts and Practice)*, eds. Gafta D., Akeroyd I. (Berlin, Heidelberg: Springer), 211-225.
114. Nakhutsrishvili G., O. Abdaladze, M. Akhalkatsi, (2009) "Main trends to mountain biodiversity in Georgia". *Mountain Forum Bulletin*, 2: 18-20.
115. Nakhutsrishvili G., R. Gagnidze, Sh. Shetekauri, Z. Manvelidze, N. Memiadze, D. Kharazishvili, K. Batsatsashvili, (2013a) "Red list of endemic plants of Georgia", in: *Red List of the Endemic Plants of the Caucasus: Armenia, Azerbaijan, Georgia, Iran, Russia and Turkey* eds. Solomon J, Shulkina T, Schatz G, Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden (MSB). (Saint Louis: Missouri Botanical Garden Press), 109-147.
116. Nakhutsrishvili G., M. Akhalkatsi, O. Abdaladze, (2013b) „ First signs of transformation of alpine vegetation in the Caucasus as a result of climate warming (on the example of Kazbegi region)", in: *Colloques Phytosociologiques, XXIX*, ed. F. Pedrotti . Camerino, 405-414.
117. Noroozi J., H. Akhiani, W. Walillner, (2010b) "Phytosociological and ecological study of the high alpine vegetation of Tushan Mountains (Central Alborz, Iran)". *Phytocoenologia* 40, no. 4: 293-321.
118. Noroozi J., H. Pauli, G. Grabherr, S-W. Breckle (2011) "The subnival-nival vascular plant species of Iran: a unique high mountain flora and its threat from climate warming". *Biodiversity and Conservation* 20: 1329-1338.
119. Oesterheld M., N.L. Poff, M.T. Sykes, M. Walker M. & D.H. Wall, (2000) "Global biodiversity scenarios for the year 2100". *Science* 287: 1770-1774
120. Ozenda P. & J-L. Borel, (2003) "The alpine vegetation of the Alps", in: *Alpine Biodiversity in Europe*, eds. Nagu L., Grabherr G., Körner, C. & Thompson D. B. A. *Ecological studies*, 167: 53-64.

121. Packer JC. (1974) "Differentiation and dispersal in alpine floras". *Arctic and Alpine Research* 6: 117-128.
122. Parmesan C. & G. Yohe, (2003) "A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems". *Nature* 421: 37-43.
123. Parmesan C. (2006) "Ecological and evolutionary responses to recent climate change". *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 37: 637-669.
124. Parolo G., G. Rossi, (2008) "Upward migration of vascular plants following a climate warming trend in the Alps". *Basic and Applied Ecology* 9: 100-107.
125. Pauli H., M. Gottfried, G. Grabherr, (1999) "Vascular plants distribution patterns at the low- temperature limits of plants life- the alpine-nival ecotone of Mount Schrankogel (Tirol, Austria)". *Phytocoenologia* 29: 297-325.
126. Pauli H., M. Gottfried & G. Grabherr, (2010) „Impacts of climate change on mountain biodiversity: the global observation network GLORIA”, in: *Mountain Biodiversity and Global Change* , eds. Spehn E.M., Rudmann-Maurer K., Körner C., Maselli D. (Basel: GMBA-DIVERSITAS), 38-39.
127. Pauli H., M. Gottfried, S. Dullinger, O. Abdaladze, M. Akhalkatsi, J.L. Benito Alonso, G. Coldea, J. Dick, B. Erschbamer, R. Fernández Calzado, D. Chozn, J.I. Holten, R. Kanka, G. Kazakis, J. Kollar, P. Larsson, P. Moiseev, D. Moiseev, U. Molau, J.M. Mesa, L. Nagy, G. Pelino, M. Puscas, G. Rossi, A. Stanisci, A. O. Syverhuset, J.P. Theurillat, M. Tomaselli, P. Unterluggauer, L. Villar, P. Vittoz, G. Grabherr. (2012) „Recent Plant Diversity Changes on Europe’s Mountain Summits“. *Science* 20: 336-353.
128. Pauli H., M. Gottfried, D. Hohenwallner, K. Reiter, R. Casale & G. Grabherr, (2004) *The GLORIA Field Manual- Multi-Summit Approach*. European Commission DG Research, EUR 21213. (Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities)

129. Pawlowsky B. (1970) "Remarques sur l'endémisme dans la flore des Alpes et des Carpates". *Vegetatio* 21: 181-243
130. Pérez-Harguindeguy N., S. Díaz, E. Garnier, S. Lavorel, H. Poorter, P. Jaureguiberry, M.S. Bret-Harte, W.K. Cornwell, J.M. Craine, D.E. Gurvich, C. Urcelay, E. J. Veneklaas, P.B. Reich, L. Poorter, I.J. Wright, P. Ray, L. Enrico, J.G. Pausas, A.C. de Vos, N. Buchmann, G. Funes, F. Quétier, J.G. Hodgson, K. Thompson, H.D. Morgan, H. ter Steege, M.G.A. van der Heijden, L. Sack, B. Blonder, P. Poschlod, M.V. Vaieretti, G. Conti, A. C. Staver, S. Aquino and J.H.C. Cornelissen, (2013) "New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide", *Australian Journal of Botany* 61, no. 3: 167-234.
131. Pickering C., W. Hill, K. Green, (2008) "Vascular plante diversity and climate change in alpine zone of the Snowy Mountains, Australia". *Biodiversity Conservation*. 17: 1612-1644.
132. Price M. F. & R. G. Barry, (1997) *Climate change. Mountains of the World*. Eds. Messerli, B. and Ives, J. D. (New York: The ParthenonPublishing Group), 409-445.
133. Raunkier C. (1934) *The Life Form of plants and statistical Plant Geograpy*. (Oxford: Oxford University Press).
134. Reginster I., M. Rounsevell, J. Spangenberg, (2005) *Development, Promision and Application of the ALARM project*. (RTD Framework Programme 6 of the European Commission.
135. Roeckner E. (1992) "Past, present and future levels of greenhouse gases in the atmosphere and model projection of related climatic changes". *Journal of Experimental Botany* 43: 1097- 1109.
136. Root T.L., J.T. Price, K.R. Hall, S. H. Schneider, C. Rosenzweig C. & J.A. Pounds (2003) "Fingerprints of global warming on wildanimals and plants". *Nature* 421 : 57-60.

137. Sætersdal M. & H. J. B. Birks, (1997) "A comparative ecological study of Norwegian mountain plants in relation to possible future climatic change". *Journal of Biogeography* 24: 127-152.
138. Sakhokia M., and E. Khutsishvili (1975) *Conspectus florae plantarum vascularium Chewii*. (Tbilisi: Metsniereba).
139. Sala O. E., F.S. III Chapin, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-sannwald, L. F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D. M. Lodge, H.A. Mooney, M. Oesterheld, N.L. Poff, M.T. Sykes, B.H. Walker, M. Walker & D.H. Wall, (2000) "Global biodiversity scenarios for the year 2001". *Science*, 287: 1770-1774.
140. Schatz G., T. Shulkina, G. Nakhutsrishvili, K. Batsatsashvili, K. Tamanyan, V. Ali-zade, D. Kikodze, D. Geltman, T. Ekim (2009) *Development of Plant Red List Assessments for the Caucasus Biodiversity Hotspot: Status and Protection of Globally Threatened Species in the Caucasus*. (Tbilisi: CEPF, WWF. Contour Ltd.), 188-192.
141. Scherrer D. and Ch. Körner, (2010) "Infra-red thermometry of alpine landscapes challenges climatic warming projections". *Global Change Biology*, 16 : 2602-2613.
142. Scherrer D. and Ch. Körner, (2011) "Topographically controlled thermal-habitat differentiation buffers alpine plant diversity against climate warming". *Journal of Biogeography*, 38: 406-416.
143. Scherrer D., S. Schmid, Ch. Körner, (2010) "Elevational species shifts in a warmer climate are overestimated when based on weather station data". *International Journal of Biometeorology*, 55: 645-654.
144. Schneeberger C., H. Blatter, A. Abe-Ouchi, M. Wild, (2003) "Modelling changes in the mass balance of glaciers of the northern hemisphere for a transient 2 x CO<sub>2</sub> scenario". *Journal of Hydrology* 282: 145-163.
145. Schröter D., W. Cramer, R. Leemans, IC. Prentice, MB. Araújo, NW. Arnell, A. Bondeau, H. Bugmann, TR. Carter, CA. Gracia, AC. Dela Vega-Leirnet, M. Erhard, F. Evert, M. Glendining, JL. House, s. Kankaanpää, RJ. Klein, S. Lavorel, M. Lindner, MJ. Metzger, J.

- Meyer, TD. Mitchell, I. Reginster, M. Raunsevell, S. Sabate, S. Sitch, B. Smith, J. Smith, P. Smith, MT. Sykes, K. Thonicke, W. Thuiller, G. Tuck, S. Zaehle, B. Zeire, (2005) "Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe". *Science*, 310: 1333-1337.
146. Spehn E. and Ch. Körner, (2009) *Mountain Diversity- A Global Heritage*. Mountain Forum Bulletin, vol. IX.Issue 2.
147. Spehn E., K. Rudmann-Maurer, (2010) *Impacts of climate change on mountain biodiversity in Europe. – Convention the conservation of European wildlife and natural habitats*. (Strasbourg).
148. Stanisci A., L. Frate, U. Morra Di Cella, G. Pelino, M. Petey, C. Siniscalco, M.L.Carranza, (2014) "Short-term signals of climate change in Italian vegetation: observations at two GLORIA sites". *Plant Biosystems* 10: 2-10.
149. Steinger T., Ch. Körner, B. Schmid, (1996) "Long-term persistence in a changing climate: DNA analysis suggests very old ages of clones of alpine *Carex curvula*". *Oecologia*, 105: 94-99.
150. Theurillat J-P. & A. Guisan, (2002) "Potential impacts of climate change on vegetation in the European Alps: a review". *Climatic Change*, 50: 77-109.
151. Theurillat J-P. (1995) "Climate change and the alpine flora: some perspectives", in: *Potential ecological impacts of climate change in Alps and Fennoscandian mountains*. Eds. Guisan, A., Holten JI., Spichiger, R., Tessier, L. Ed Conserv Jard Bot.Geneva, 121-127
152. Tumajanov I. I. (1980) "Vegetation of the European part of the USSR Caucasian meadows and elfin woodlands". *Nauka*: 198-202.
153. UNFCCC, (2010) *The Cancun Agreements. United Nations Framework Convention on Climate Change*. <http://unfccc.int/meeting/6266.php> ,November) (Accessed December 2013)

154. Vautard R., A. Gobiet, S. Sobolowski, E. Kjellstrom, A. Stegehuis, P. Watkiss Th. Mendlik, O. Landgren, G. Nikulin, C. Teichmann, (2014) "The European climate under a 2°C global warming". *Environment Research Letter* 9: 2-11.
155. Voskanyan V.E. (1966) "O biologicheskikh osobenostiakh rastenii v verkhnei chasti alpiiskogo poiasa( on some biological peculiarities of plants in the upper part of the alpine belt of the Aragats Mountain)", *Botanicheski Zhurnal* 2: 257-265.(In Russian)
156. Walther G.-R., S. Beißner & R. Pott, (2005b) „Climate change and high mountain vegetation shifts”, in: Mountain Ecosystem Studies in Treeline Ecology, eds. Broll G. & Keplin B. (Berlin, Heidelberg: Springer), 77-96.
157. Walther G.-R., S. Beißner & C.A. Burga, (2005a) "Trends in the upward shift of alpine plants". *Journal of Vegetation Science* 16: 541-548.
158. Walther G.-R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T.J.C. Beebee, J.-M. Fromentin, O. Hoegh-Guldberg & F. Bairlein, (2002) "Ecological responses to recent climate change". *Nature* 416: 389-395.
159. Winkler M., A. Lamprecht, K. Steinbauer, K. Hülber, J.-P. Treurillat, F. Breiner, P. Choler, S. Ertl, G.A. Giron, G. Rossi, P. Vittoz, M. Akhalkatsi, Ch. Bay, J.L. Alonso, T. Bergström, M.L. Carranza, E. Corcket, J. Dick, B. Ershbamer, R. F. Calzado, A. M. Forsaa, R. G. Gavilan, D. Chosn, Kh. Gigauri, D. Huber, R. Kanka, G. Kazakiz, M. Klipp. J. Kollar, T. Kudernatsch, P. Lersson, M. Mallaun, O. Michelsen, P. Moiseev, D. Moiseev, Ulf, Mollau, J.M. Mesa, U.M. di Cella, L. Nagy, M. Petey, M. Puscas, Ch. Rixen, A. Stanisci, M. Suen, A. O. Syverhuset, M. Tomaselli, P. Unterluggauer, T. Ursu, L. Villar, M. Gottfried and H. Pauli (2016) "The rich sides of mountain summits-a pan-European view on aspect preferences of alpine plants". *Journal of Biogeography* 43: 2261-2273.
160. Webb T. (1986) „Is vegetation in equilibrium with climate? How to interpret late-Quaternary pollen data". *Vegetatio* 67: 75-91.

161. Webb T., Bartlein P.J. (1992) "Global changes during the last 3 million years: climatic controls and biotic responses". *Annual Review of Ecology, Evolution, Systematics* 23: 141-173.
162. Zazanashvili N., Gagnidze R., Nakhutsrishvili G. (1995) "High mountain vegetation on the new vegetation map of Georgia". *Journal of Vegetation Science*, 6: 157-158.
163. Zur, J. H. (1984) *Biostatistical analysis*. (New Jersey: Englewood Cliffs).
164. Долуханов А. Г. (1966a) "Закономерности географического разнообразия растительности: I Верхняя граница леса в горах Закавказья". *Проблемы ботаники*. 8: 196-207.
165. Долуханов А. Г. (1966b) "Растительность", В кн: *Кавказ*, авт. Герассимов И. П. (Москва: Наука), 223-251.
166. Джанелидзе К., Н. Маргалитадзе (1977) "История лесной растительности в голоцене", в кн: *Высокогорная экосистема Казбеги*, ред. Г.Ш. Нахуцришвили (Тбилиси: Изд. АН ГССР), 17-21.
167. Кецохели Н. (1935) *Основные типы растительного покрова Грузии*. (Тбилиси: изд. Т-го Гос. Унив.)
168. Кордзахия М. (1961) *Климат Грузии*. (Тбилиси: Изд. АН ГССР).
169. Маруашвили Л. (1971) „Центральный Кавказ“, в кн: *Геоморфология Грузии*. (Тбилиси: Изд. АН ГССР), 172-236.
170. Нахуцришвили, Г. (1974) *Экология высокогорных растений и фитоценозов Центр. Кавказа, Ритмика развития, фотосинтез, экобиоморфы*. Тбилиси: Мецниереба.
171. Нахуцришвили Г. (1988) "Экологическая характеристика луговой растительности высокогорий (на примере Казбеги, Центральный Кавказ)", в кн.: *Экология высокогорий*, ред. Г. Нахуцришвили. (Тбилиси: Мецниереба), 175-200.

172. Нахуцришвили Г., З. (1984) *Гамцемлидзе Жизнь растений в экстремальных условиях*. Ленинград: Наука).
173. Нахуцришвили Г. (1971) *Экология высокогорных растений и фитоценозов Цент. Кавказа, Водный режим*, Тбилиси: Мецниереба.
174. Сахокиа М., Е. Хуцишвили (1975) *Конспект флоры высших растений Хеви*, Тбилиси.
175. Харадзе А. (1965b) "О субнивальном поясе Большого Кавказа. Зам. по систематике и географии растений", *Ин. Бот. АН ГССР*, 25: 103-104.

## დანართები

დანართი 1. გლორის სამონიტორინგო მწვერვალებზე დაფიქსირებული სახეობების სრული სია. გამუქებული სახეობები კავკასიის ენდემებია. (AL-სახეობის გავრცელების ქვედა ზღვარი, AC-სახეობის გავრცელების ცენტრი, AU-სახეობის გავრცელების ზედა ზღვარი). სახეობათა რანგი: m-მთის, tl-ტყის ზედა საზღვრის, al-ალპური, ni-ნივალური, id-განუსაზღვრელი.

| სახეობები                                      | AL | AC | AU | სინონიმი                             |
|------------------------------------------------|----|----|----|--------------------------------------|
| <i>Agrostis capillaris</i> L.                  | mo | mo | tl |                                      |
| <i>Agrostis vinealis</i> Schreb.               | tl | tl | al | <i>Agrostis planifolia</i> K. Koch   |
| <i>Alchemilla caucasica</i> Bus.               | al | al | ni |                                      |
| <i>Alchemilla chlorosericea</i> (Bus.) Juz.    | ni | ni | ni |                                      |
| <i>Alchemilla retinervis</i> Bus.              | tl | al | al |                                      |
| <i>Alchemilla rigida</i> Buser                 | tl | tl | al |                                      |
| <i>Alchemilla sericata</i> Rchb. ex Buser      | tl | tl | al |                                      |
| <i>Alchemilla tephroserica</i> (Bus.) Juz.     | tl | tl | al |                                      |
| <i>Anemone narcissiflora</i> Ziman & Fedor.    | al | al | al | <i>Anem. fasciculatum</i> (L) Holub. |
| <i>Androsace villosa</i> L.                    | tl | al | al |                                      |
| <i>Antennaria caucasica</i> Boriss.            | tl | al | al |                                      |
| <i>Anthyllis variegata</i> Grossh.             | tl | tl | al |                                      |
| <i>Anthemis iberica</i> Bieb.                  | tl | tl | tl |                                      |
| <i>Anthoxanthum odoratum</i> L.                | tl | al | al |                                      |
| <i>Anthoxanthum odoratum</i> L.                | mo | tl | tl |                                      |
| <i>Betonica macrantha</i> K.Koch               | tl | tl | al |                                      |
| <i>Betula litwinowii</i> Doluch.               | mo | mo | tl |                                      |
| <i>Bromus variegatus</i> (Bieb.) Holub         | tl | tl | al |                                      |
| <i>Campanula bellidifolia</i> Adam             | tl | tl | al |                                      |
| <i>Campanula tridentata</i> (Schult) Ogan.     | tl | al | ni |                                      |
| <i>Campanula collina</i> M. Bieb.              | tl | tl | al |                                      |
| <i>Campanula hohenackeri</i> Fisch.& Mey.      | tl | tl | al |                                      |
| <i>Calamagrostis arundinaceae</i> (L.) Roth.   | tl | al | al |                                      |
| <i>Carex atrata</i> L.                         | al | al | ni | <i>Carex medwedewii</i> Leskov       |
| <i>Carex meinshauseniana</i> V. Krecz.         | tl | tl | al |                                      |
| <i>Carex tristis</i> Bieb.                     | al | al | ni |                                      |
| <i>Carum alpinum</i> (Bieb.) Benth.& Hook fil. | tl | al | ni |                                      |
| <i>Carum carvi</i> L.                          | mo | mo | tl |                                      |
| <i>Carum caasicum</i> (Bieb.) Boiss.           | tl | al | ni |                                      |
| <i>Centaurea cheiranthifolia</i> Willd.        | tl | tl | al |                                      |

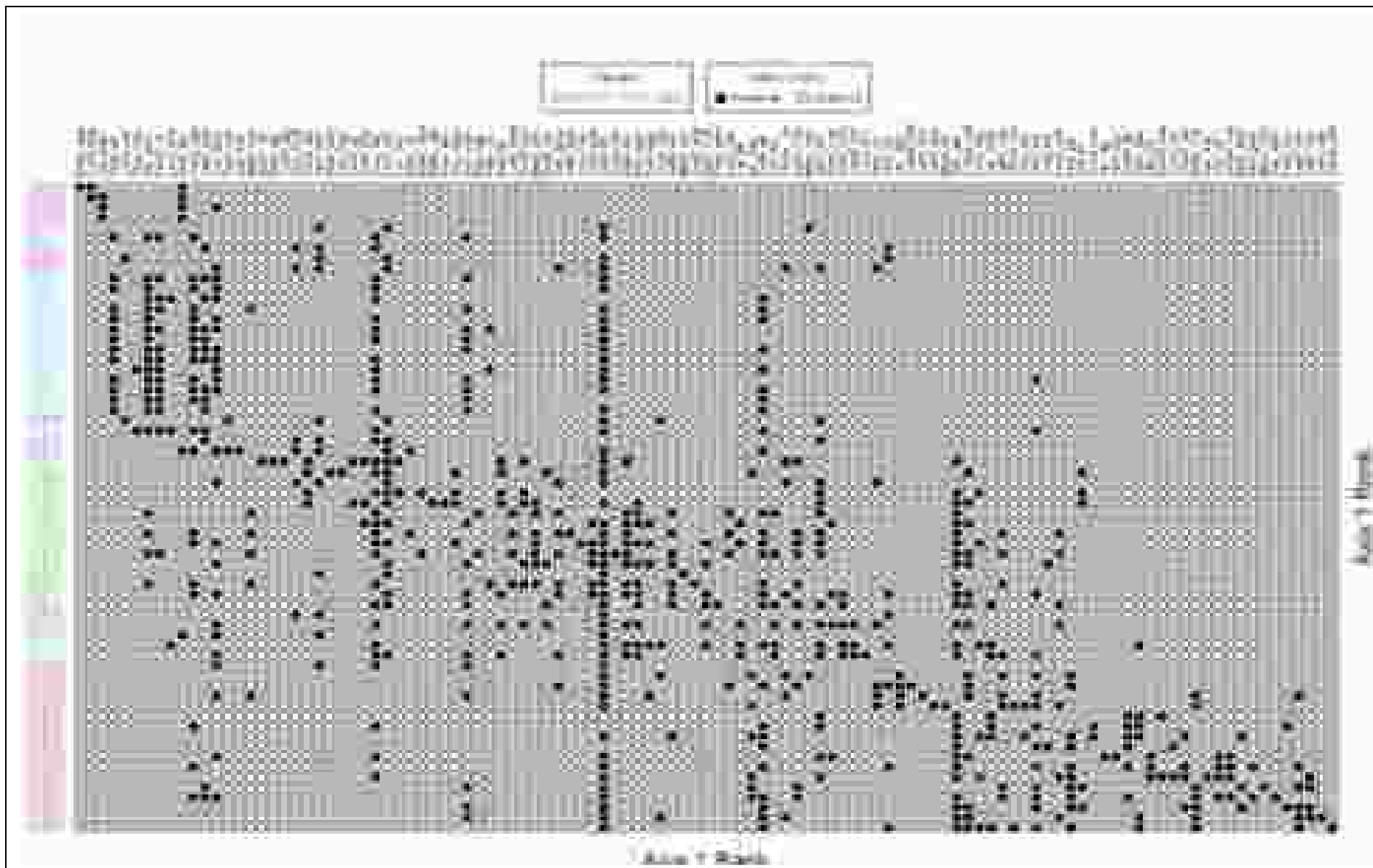
|                                                        |    |    |    |                                    |
|--------------------------------------------------------|----|----|----|------------------------------------|
| <i>Cephalaria gigantea</i> (Ledeb.) Bobrov             | tl | tl | tl |                                    |
| <i>Cerastium arvense</i> L.                            | tl | tl | al |                                    |
| <i>Cerastium cerastoides</i> (L.) Britton              | tl | al | ni |                                    |
| <i>Cerastium multiflorum</i> C.A. Mey.                 | al | al | ni |                                    |
| <i>Cerastium purpurascens</i> Adam                     | tl | al | ni |                                    |
| <i>Corydalis alpestris</i> C.A.                        | tl | al | al |                                    |
| <i>Corydalis emanuelii</i> C.A.                        | tl | al | al |                                    |
| <i>Chaerophyllum aureum</i> L.                         | tl | tl | al |                                    |
| <i>Cicerbita racemosa</i> (Willd.)<br>Beauverd         | tl | al | al |                                    |
| <i>Cirsium obvallatum</i> (M. Bieb.) Fisch.            | tl | tl | al |                                    |
| <i>Coeloglossum viride</i> (L.) Hartm.                 | mo | mo | tl |                                    |
| <i>Cruciata glabra</i> (L.) Ehrend.                    | mo | mo | tl |                                    |
| <i>Cruciata laevipes</i> Opiz.                         | mo | mo | tl |                                    |
| <i>Cynoglossum officinale</i> L.                       | tl | tl | tl |                                    |
| <i>Daphne mezereum</i> L.                              | mo | mo | tl |                                    |
| <i>Daphne glomerata</i> Lam.                           | tl | al | al |                                    |
| <i>Deschampsia flexuosa</i> (L.) Trin.                 | mo | tl | al |                                    |
| <i>Draba hispida</i> Willd.                            | tl | tl | al |                                    |
| <i>Draba supranivalis</i> Rupr.                        | al | ni | ni |                                    |
| <i>Dryas octopetala</i> L.                             | al | al | al | <i>Dryas caucasica</i> Juz.        |
| <i>Empetrum nigrum</i> L.                              | tl | tl | al | <i>Empetrum caucasicum</i><br>Juz. |
| <i>Erigeron orientalis</i> Boiss.                      | tl | tl | al |                                    |
| <i>Euphrasia hirtella</i> Jord. ex Reut.               | tl | tl | al |                                    |
| <i>Euphrasia minima</i> Jacq. ex DC.                   | tl | al | al |                                    |
| <i>Festuca airoides</i> Lam.                           | tl | al | al |                                    |
| <i>Festuca ovina</i> agg.                              | mo | id | al |                                    |
| <i>Festuca woronowii</i>                               | tl | id | al | <i>Festuca varia</i> Haenke        |
| <i>Fritillaria lutea</i> Mill.                         | tl | al | al |                                    |
| <i>Gentiana angulosa</i> Bieb.                         | tl | id | ni |                                    |
| <i>Gentiana aquatica</i> L.                            | tl | id | ni |                                    |
| <i>Gentiana septemfida</i> Pall.                       | tl | id | al |                                    |
| <i>Gentianella caucasea</i> (G.Lodd. ex<br>Sims) Holub | tl | tl | al |                                    |
| <i>Geranium ibericum</i> Cav.                          | tl | tl | al |                                    |
| <i>Geranium ruprechtii</i> (Woronow)<br>Grossh.        | tl | tl | al |                                    |
| <i>Helictotrichon asiaticum</i> (Roshev.)<br>Grossh.   | tl | tl | al |                                    |
| <i>Hieracium pilosella</i> L.                          | mo | id | al |                                    |
| <i>Hieracium x pannoniciforme</i> Litw. &Zahn          | tl | tl | al |                                    |
| <i>Inula orientalis</i> Lam.                           | tl | tl | al |                                    |
| <i>Jurinella subcaulis</i> (Fisch. & Mey.)             | al | ni | ni |                                    |
| <i>Kobresia capilliformis</i> Ivanova                  | tl | al | al |                                    |

დანართი 1-ის გაგრძელება

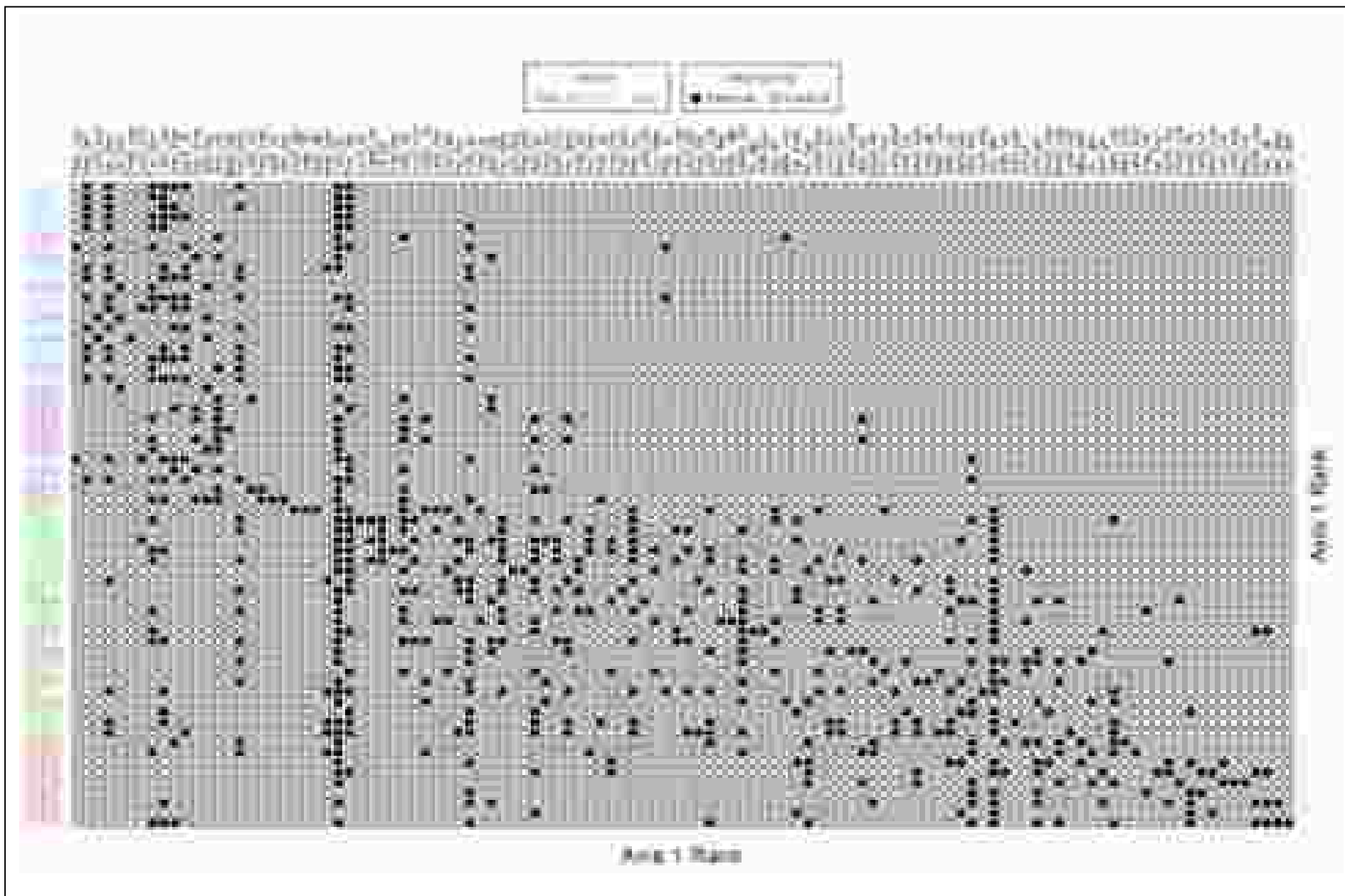
|                                              |    |    |    |                                     |
|----------------------------------------------|----|----|----|-------------------------------------|
|                                              |    |    |    |                                     |
| Leontodon hispidus L. (Jacq.)                | tl | al | al |                                     |
| Leontodon hispidus L.                        | mo | id | al | Leontodon caucasicus (Bieb.) Fisch. |
| Linum hypericifolium Salisb.                 | tl | tl | al |                                     |
| Lomatogonium carinthiacum (Wulfen) Rchb.     | tl | al | al |                                     |
| Luzula multiflora (Retz.) Lej.               | mo | id | al |                                     |
| Luzula spicata(L) DC                         | tl | al | ni |                                     |
| Luzula stenophylla Steud.                    | tl | al | al | Luzula pseudosudetica (V. Krecz.)   |
| Macrotomia echioides (L.) Boiss.             | tl | id | al |                                     |
| Matricaria breviradiata (Lebed) Rauschert    | al | ni | ni | Matricaria caucasica (Willd.) Poir  |
| Minuartia circassica (Albov) Woronow         | tl | id | ni |                                     |
| Minuartia imbricata (Bieb.) Woronow          | tl | id | ni |                                     |
| Minuartia inamoena (C.A.Mey.) Woronow        | al | ni | ni |                                     |
| Minuartia oreina (Mattf.) Schischk.          | tl | id | ni |                                     |
| Myosotis arvensis (L.) Hill                  | mo | id | al |                                     |
| Nardus stricta L.                            | mo | id | al |                                     |
| Oxytropis cyanea Bieb.                       | tl | tl | al |                                     |
| Phleum alpinum L. subsp. alpinum             | tl | id | al |                                     |
| Plantago atrata Hoppe                        | tl | id | al |                                     |
| Plantago caucasica T. Pop.                   | tl | tl | al |                                     |
| Plantago lanceolata L.                       | tl | tl | al |                                     |
| Poa alpina L.                                | tl | al | al |                                     |
| Poa caucasica Trin.                          | al | al | ni |                                     |
| Poa longifolia Trin.                         | tl | tl | al |                                     |
| Poa pratensis L.                             | tl | tl | al |                                     |
| Polygonum carneum C. Koch                    | tl | id | al |                                     |
| Polygonum viviparum L.                       | tl | al | al |                                     |
| Potentilla crantzii (Grantz) Beck ex Fritsch | tl | id | al | Potentilla gelida C.A. May.         |
| Primula algida Adam                          | tl | id | ni |                                     |
| Primula amoena Bieb.                         | tl | tl | ni |                                     |
| Tanacetum coccineum (Willd) Grierson         | tl | tl | al | Pyrethrum carneum Bieb.             |
| Ranunculus lojkae Somm. & Levier             | tl | al | al |                                     |
| Ranunculus oreophilus M.Bieb.                | tl | id | al |                                     |
| Rhinanthus minor L.                          | mo | id | tl |                                     |
| Rhododendron caucasicum Pall.                | tl | id | al |                                     |
| Rumex acetosa L.                             | mo | mo | al |                                     |
| Rumex alpestris Jacq.                        | mo | tl | al |                                     |

|                                       |    |    |    |                               |
|---------------------------------------|----|----|----|-------------------------------|
| Rumex alpinus L.                      | tl | al | al |                               |
| Salix kazbekensis A. Skvorts.         | mo | tl | tl |                               |
| Saxifraga cartilaginea Willd.         | tl | tl | al |                               |
| Saxifraga exarata Vill.(Wulfen) Cvil. | al | al | ni |                               |
| Scabiosa caucasica Bieb.              | tl | tl | al |                               |
| Scrophucephalus minimus (M. Bieb.)    | al | al | al | Scrophularia minima M. Bieb.  |
| Sedum spurium M.Bieb.                 | tl | tl | al |                               |
| Sibbaldia procumbens L.               | al | al | ni | Sibbaldia semiglabra C.A. Mey |
| Silene ruprechtii Schischk.           | tl | id | al |                               |
| Solidago vulgaurea L.                 | tl | tl | al | Solidago vulgaris Lam.        |
| Swertia iberica Fisch. & C.A.Mey.     | tl | tl | al |                               |
| Taraxacum confusum Schischk.          | tl | tl | al |                               |
| Taraxacum porphyranthum Boiss.        | tl | al | al |                               |
| Taraxacum stevenii DC.                | al | al | ni |                               |
| Thymus collinus Bieb.                 | tl | tl | al |                               |
| Thymus nummularius Bieb.              | tl | tl | al |                               |
| Thymus transcaucasicus Ronn.          | tl | tl | al |                               |
| Tragopogon filifolius Rehm. ex Boiss. | tl | tl | al |                               |
| Tragopogon reticulatus Boiss. & Huet  | tl | tl | al |                               |
| Trifolium ambiguum M.Bieb.            | mo | id | al |                               |
| Trifolium canescens Willd.            | tl | al | al |                               |
| Trifolium repens L.                   | mo | id | al |                               |
| Trifolium trichocephalum Bieb.        | tl | tl | al |                               |
| Trollius ranunculinus (Smith) Stearn  | tl | al | al | Trollius patulus Salisb.      |
| Vaccinium myrtillus L.                | mo | mo | al |                               |
| Vaccinium vitis-idaea L.              | mo | tl | al |                               |
| Valeriana tiliifolia Troitzk.         | tl | id | al | Valeriana alliariifolia V.E.  |
| Veronica gentianoides Vahl            | tl | id | al |                               |
| Veronica telephiifolia Vahl           | al | ni | ni |                               |
| Vicia alpestris Stev.                 | tl | id | al |                               |
| Vicia cracca subsp.cracca L.          | tl | tl | al | Vicia grossheimii Ekvtim.     |

დანართი 2. სახეობათა განაწილება კლასტერებზე 2001 წელს. (მცენარეთა სახელები მოცემულია შემოკლებულად, Elevatio-  
ჰიფსომეტრული სიმაღლე, Presence- არის სახეობა, Absence-არ არის სახეობა)



დანართი 3. სახეობათა განაწილება კლასტერებზე 2008 წელს. (მცენარეთა სახელები მოცემულია შემოკლებულად)



**Gigauri Khatuna**

**Modeling of the climate change impact on the alpine plants diversity of the  
Central Greater Caucas**

**PhD Thesis**

**Resume**

***Introduction***

The earth's biosphere is currently experiencing and will continue to experience rapid climate change (Solomon et al., 2007; Arndt et al., 2010). Temperature change scenarios in Europe for 2080 vary regionally, but show a clear trend towards warming (IPCC 2007). The average projected increase in Europe ranges from 2.1° to 4.4°C, with considerable seasonal and regional variation of changes in precipitation (Schröter et al., 2005). A warming over all European regions is found, especially in last two decades, with slightly weaker amplitude than the global warming over north-western Europe, but a more intense warming (up to +3°C) in northern and eastern Europe in winter and in southern Europe in summer (Vautard et al., 2014). The precipitation decreases in Central/Southern Europe in summer, with changes reaching 20%.

In mountainous regions trends are even higher than in lowland (Böhm et al., 2001). In winter temperatures increase more than in summer (Jones & Moberg, 2003). It is assumed that average temperatures during the second half of the 20th century in the northern hemisphere were likely the highest in at least the past 1300 years (Spehn & Rudmann-Maurer, 2010).

High mountains of the temperate zone are among the most sensitive areas in terms of environmental impacts of climate change (Korner, 2002; Nagy and Grabherr, 2009). Development and normal functioning of alpine ecosystems are largely determined by the low temperature conditions, frequency and intensity of wind, and the distributional character of

precipitation (Larcher, 2012). Changing of these limiting effects will have an impact on the diversity of the vegetation: migration of species from low altitudes to high altitudes will start and the species adapted to high altitude conditions will gradually disappear (Korner, 1992; Nagy and Grabherr, 2009). Migration of species from low altitudes to high altitudes will start and the species adapted to high altitude conditions will gradually disappear until the end of the 21<sup>st</sup> century, particularly where climate warming is combined with decreasing precipitation (Van de Ven et al., 2007). The more cold-adapted species will decline and the more warm-adapted species will increase. This process is described as thermophilization. Plants as bioclimatic indicators were used to define two composite indices (thermic vegetation indicator *S* and thermophilization indicator *D*) (Gottfried *et al.*, 2012) for climate change effects on vegetation in mountains all over Europe. These indices are assumed to represent the “thermophilic” and “cryophilic” status of vegetation. The results revealed that most of summits in Europe have positive thermophilization indicator.

Many observations, e.g., in the Alps (Gottfried et al., 1999; Keller et al., 2000; Grabherr et al., 2001; Walther et al., 2005), Scandinavian mountains (Klanderud and Birks, 2003), Rocky Mountains, and the Central Greater Caucasus (Nakhutsrishvili et al., 2004, 2009), have shown that climate warming leads to the changes of habitats, distribution peculiarities, and viability of some vegetation types. In particular, the investigations conducted in the South and Central Alps (Erschbamer et al., 2006) have shown the change in the diversity of vegetation from the treeline to the alpine zone, invasion of forest elements in alpine meadows that represents a certain danger to the prior ones. Vertical shifting of the treeline has been shown for several mountain systems of the world (Moiseev and Shiyatov, 2003; Kullman, 2007) and in particular in the Central Greater Caucasus (Nakhutsrishvili, 2003; Akhalkatsi et al., 2006; Hughes et al., 2009). Studies in the high mountains of the Kazbegi region (the Central Greater Caucasus) revealed enhancement of seed formation process in

birch forests, with individuals of *Betula litwinowii* of 6–8 years old found at the altitude of 2200–2550 m.

Climate change in Georgia has a mosaic character reflected in the temperature rises in East Georgia in recent decades. In West Georgia, on the contrary, the temperature is reducing. During the 2 equal 40-year periods of 1921– 1960 and 1961–2000, it was determined that the frequency of warm months in the second period compared to the first decreased over the glaciers of the West and Central Caucasus by 6.6% and 7.2%, respectively (Elizbarashvili et al., 2009). During the last 70–80 years the permanent backward movement of the glaciers on the south slopes of the Greater Caucasus range is apparent and its speed (1.5 m/year on average) is the same as in the Alps in Europe (Gobejishvili and Kotlyakov, 2006). ).

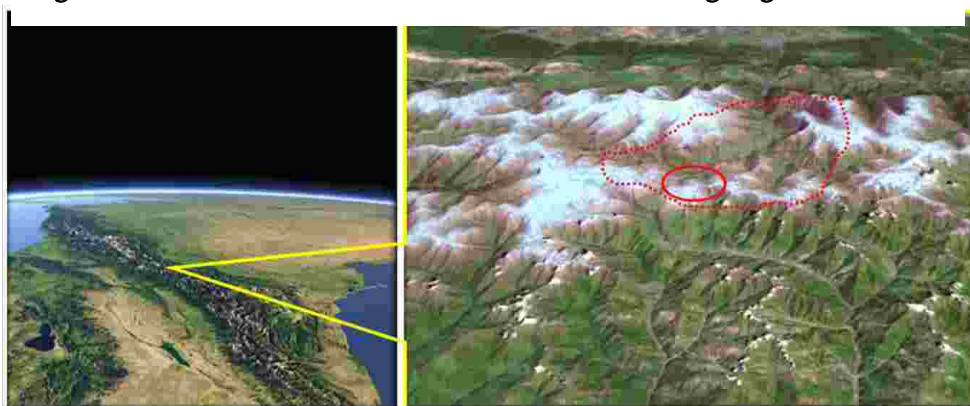
The studies within the framework of GLORIA-Europe (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments) project in the Caucasus Mountains of Georgia were initiated from 2001. The project established a high mountain monitoring network of permanent plots on summits from the treeline ecotone to subnival/nival zone (Pauli et al., 2003, 2004). One of the strengths of the GLORIA network is its focus on the alpine zone, i.e. the zone above the treeline. First results were given in the following publications: Dullinger *et al.*, (2007), Erschbamer *et al.*, (2010, 2013), Gigauri *et al.*, (2013, 2014), Gottfried *et al.*, (2012), Pauli *et al.*, (2012) and Nakhutsrishvili *et al.*, (2013). Although the preliminary considerations on possible transformation of alpine vegetation of the Caucasus due to climate warming were already presented (Nakhutsrishvili *et al.*, 1999, 2004).

The aim of this study was to determine if there have been any changes in the vegetation on the permanent plots of the GLORIA network in the Central Greater Caucasus from 2001 to 2008 and whether such changes can be related to change in the climate in the same period.

## 1. Study area

Studies were conducted in the Kazbegi region, which is located (N 42°39'; E 44°37') on the extreme eastern, highest and geomorphologically the most complex central part of the Great Caucasus range (Fig. 1). The study area is of volcanic origin. Topography is formed by Jurassic rocks, Paleozoic and even older granites, younger lava and moraines. Mountain massifs of the Kazbegi volcanic area are overlain by Quaternary glacial or river deposits and rock falls as well as major accumulations of calcareous tuffs and travertines. Glacial deposits occur in many places. The relief of the Kazbegi region is formed by: ascending, bare, sharp ridges; isolated peaks; very steep rocky slopes; narrow gorges; and caves of erosion-tectonic origin. Ninety-nine big and small glaciers with different exposure and morphology are present in the region. The lowest, average and highest elevations of the region are 1210 m a.s.l., 2850 m a.s.l. and 5033 m a.s.l. (Mt. Kazbegi). Area of Kazbegi region is 1081.7 km<sup>2</sup> (Nakhutsrishvili et al., 2005). The dominant soil types are: leptic, folic, aluminic, humic umbrisols.

**Figure.1 Central Great Caucasus. Location of the Kazbegi region**



The following factors determine the climate in the region: high elevations, complex topography, and location on north-facing macro-slope of the Great Caucasus. The climate type characteristic to upper forest-subalpine zones is moderately dry with short and cool summer and relatively cold winter. The climate type of subalpine-alpine zones is moderately

moist, with short and cool summer and relatively dry and cold winter. The climate type of alpine-subnival zones is moderately dry and characterized by severe and long winter and absence of real summer. The climate type of subnival-nival zones is moderately moist, without summer and characterized by the permanent snow cover and ice (Nakhutsrishvili 2003). The Kazbegi region is characterized by rich flora. It contains 1112 vascular plant species, which makes up 27% of the total number of plants (about 4100 species; (Gagnidze 2005) recorded in Georgia. The study area is characterized by a high richness of Caucasus endemic species (26%) and genera (6 out of 11) (Nakhutsrishvili 2013, Sakhokia 1975, Nakhutsrishvili & Gagnidze 1999), as well as high diversity of plant communities (Nakhutsrishvili et al., 2006). The altitudinal zonation of the vegetation is well pronounced. Mountain forest fragments, shrubberies, rock and scree vegetation is typical in the mountain-forest zone (up to 1800/1850 m a.s.l.). The alpine vegetation can be divided into four zones: subalpine (1800/1850–2450/2500 m a.s.l.), alpine (2450/2500–2950/3000 m a.s.l.), subnival (2950/3000–3650/3700 m a.s.l.) and nival (> 3700 m a.s.l.)

In the subalpine zone birch forests and elfin woodland (*Betula litwinowii*), shrub communities (*Rhododendron caucasicum*), herbaceous and tragacanthic (*Astragalus denudatus*) vegetation are typical remnants of natural vegetation types. However, vast grasslands, pastures and hay meadows characterized by e.g. *Festuca ovina*, *F. varia* subsp. *woronowii*, *Hordeum violaceum*, and *Bromopsis variegata* dominate in the subalpine landscape. The alpine zone is mainly characterized by grazed grasslands, which cover mountain ridges and south-facing steep slopes (dominated by *Festuca varia* subsp. *woronowii*), while the north-facing slopes are mainly covered with shrubs (*Rhododendron caucasicum*). Carpet-like meadows (where dicots mostly dominate), rock and scree vegetation are also well pronounced in the alpine zone. In the subnival zone vegetation is present as patches of few (2-5) species. In such micro-coenoses (nanocoenoses) cushion-like, dense-tussock and rosette life forms are predominate. In the nival zone only two species

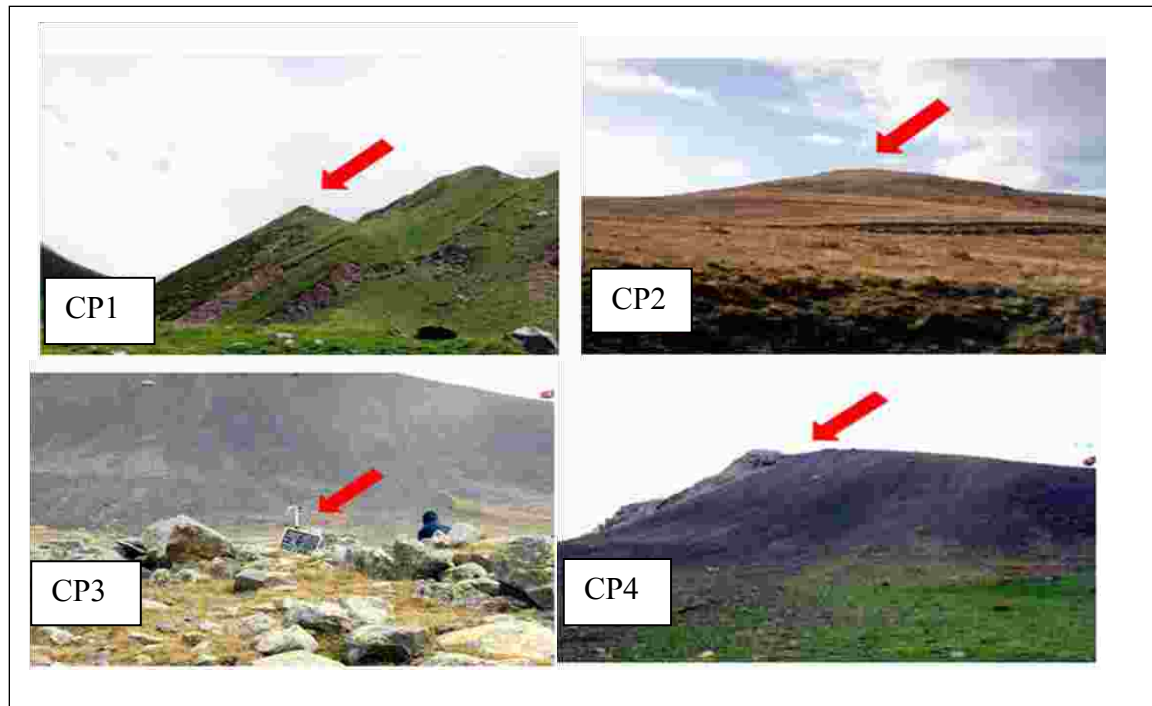
(*Cerastium kasbek*, *Alopecurus dasyanthus*) are recorded and they reach 4000 m a.s.l. (Nakhutsrishvili 2013, Nakhutsrishvili et al., 2005, Sakhokia 1975, Nakhutsrishvili et al., 2006). In the Kazbegi region alpine vegetation is under long-term human impact.

According to the GLORIA protocol vascular plant species occurrence was recorded first in 2001 at four expositions (east, north, south, west) on the four summits (CP1, CP2, CP3, and CP4) along the vertical vegetation zones (Table 2). The summit CP1 (2240 m a.s.l.) is located in the treeline ecotone with birch (*Betula litwinowii*) forest predominantly with dwarf birch trees and alpine *Rhododendron caucasicum* shrubs. The birch forest was degraded in the past centuries and a small number of trees remained. The summit CP2 (2477 m a.s.l.) is located in the lower alpine zone and represents an area between the treeline ecotone and alpine grassland which was used as a hay meadow and currently has no impacts. The CP3 summit (2815m a.s.l.) is covered by alpine grassland and used a cattle pasture with lower grazing impact. The highest summit CP4 (3024 m a.s.l.) is located in the subnival zone and has no human impact. CP3 and CP4 summits are located in the vicinity of the alpine ski resort Gudauri (Table 1, Fig. 2)

**Table 1. Characteristics of study sites. Four summits at the Cross Pass (CP) of the main range of the Central Greater Caucasus**

| Study sites | Altitude (m.s.l.) | coordinates                | Summit's area (m <sup>2</sup> ) | Vegetation zone |
|-------------|-------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------|
| CP1         | 2240              | N44°29'35";<br>E 42°32'33" | 1085.77                         | Treeline        |
| CP2         | 2477              | N44°27'33";<br>E 42°29'57" | 9628.81                         | Lower alpine    |
| CP3         | 2815              | N44°30'04";<br>E 42°29'44" | 14974.31                        | Upper alpine    |
| CP4         | 3024              | N44°30'36";<br>E 42°29'49" | 3429.60                         | Subnival/nival  |

**Figure 2. Gloria monitoring summits (CP1, CP2, CP3, CP4)**

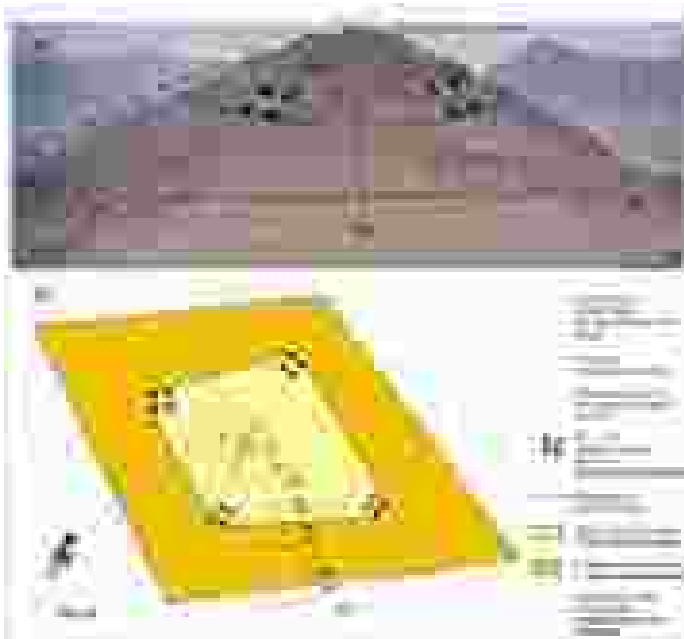


## ***2. Materials and Methods***

### ***2.1 Field work***

The sampling design of the GLORIA-Europe project (Pauli *et al.*, 2003) (Gloria-manual see also ([http:// www.gloria .ac. at](http://www.gloria.ac.at)) was used (Fig.3). 64 permanent plots in 1 m x 1 m were established for monitoring plant composition and frequency across the treeline-alpine-subnival ecotone in 2001. The positions of all 1 m x 1 m quadrates were permanently marked and precisely documented by a tachymeter survey of each corner point as well as by a photo of each plot. The plots were reinvestigated in 2008. In both years, all vascular plant species and their percentage cover were recorded (Gigauri et al., 2013, 2014)

**Figure 3. The Multi-Summit sampling design.**



In 2008, the reinvestigation involved two steps: (1) repeating the survey was conducted in 2001; (2) using the 2001 species data and the photo for comparison. In all cases where the species were readily visible on the photograph, we noted the cover difference, discernable by the plot/photo comparison, in a separate column. The cover values resulting from the second recording step documented the change in percentage cover of the species.

Soil temperatures were measured in 2002, 2005 and 2008 in the centre of the 3 m x 3 m grid in 10 cm soil depth by temperature data loggers (Onset Stow Away Tidbit – 20 to + 50 Model, USA and from 2008 *GEO-Precision, USA*) (Fig. 4). Using the data of loggers we calculated average soil temperature, minimum soil temperature and mean of daily minimum temperature during June for the period 2002-2008. June is the first month when region was free of snow. In addition, the thermal regime in early summer is considered to be more important for plant growth than in the second half of growing period (Grabherr *et al.*, 1980). Minimum temperature was used because it is less influenced by solar radiation. Growing degree day (GDD) index was calculated using temperature data logger information on the number of days per year when soil upper layer mean temperatures were above 2°C (Molau &

Molgaard, 1996). Altitudinal distribution ranges (AR) of the species were described according to Nakhutsrishvili *et al.* (2005, 2006).

**Figure.4** Temperature loggers Onset StowAway Tidbit“(1) and GEO-Precision“(2).

1)



2)



We used vascular plant species as bio-indicator. We ranked the recorded species according to their bioclimatic position as follows: **AR1**: species with nival distribution centre, **AR 2**: alpine to nival species that do not descend to the treeline, **AR 3**: alpine centered species which do not descend to the montane belt, **AR 4**: alpine centred species that descend to the montane belt, **AR 5**: species centred in the treeline ecotone or indifferently distributed from the montane to the alpine belt, **AR 6**: species which are montane-centered or indifferently distributed from the montane belt to the treeline (Gottfried *et al.*, 2012).

The top cover of surface types (vascular plant cover, solid rock, scree, etc.) and species cover of each vascular plant species were recorded in each 1 m<sup>2</sup> of 64 permanent plots at the 4 summits. The cover value of each vascular plant species was visually determined and was estimated on the percentage scale (e.g., an area of 10 × 10 cm equals 1%, while 1 × 1 cm equals 0.01%) (Frey and Losch, 2004). The frequency of species was determined using a frame divided into 100 subplots of all 1-m<sup>2</sup> permanent plots. The data were registered in electronic format with the MSAccess program (Pauli et al., 2004).

To analysis the diversity of species composition, we used Shannon diversity index  $H$  and evenness index  $J$ . The Shannon diversity index was calxiulated from the formula:

$$H = -\sum_{i=1}^s (p_i \ln p_i)$$

Where  $s$  = the number of species,  $p_i$  = the proportion of individuals or the abundance of the  $i$  species expressed as a proportion of total cover,  $\ln$  = log base  $n$ . We also calculated evenness from the formula:

$$J = \frac{H'}{H_{\max}} = \frac{\sum_{i=1}^s (p_i \ln p_i)}{\ln s}$$

Where  $s$  = the number of species,  $p_i$  = the proportion of individuals or the abundance of the  $i$  species expressed as a proportion of total cover,  $\ln$  = log base  $n$ .

We apply known optima of species vertical distribution ranges and weight these by species cover to calculate an average of the thermic vegetation indicator  $S$  for each plot:

$$S = \frac{\sum AR(\text{species } i) \times \text{cover}(\text{species } i)}{\sum \text{cover}(\text{species } i)}$$

Where  $AR$  is  $-i$  species rank,  $\text{cover}(\text{species } i)$  -  $i$  species cover. Differences of the thermic vegetation indicator between 2002 and 2008 were used to quantiftransformation of the plant communities and termed the thermophilization indicator  $D$ .

$$D = S_{\text{present}} - S_{\text{historical}}$$

Where  $S_{\text{present}}$  is thermic vegetation indicator in 2008 year and  $S_{\text{historic}}$  – in 2002.

We also calculated Sørensen coefficient for summits in 2001 and 2008 years using this formula -  $2a/2a+b+c$  (where  $a$ =number of species common to both summit;  $b$ =number of species in one summit;  $c$ =number of species in other summit).

Plant species were identified according to Sakhokia & khutsishvili (1975) and Flora of Georgia (1971-2013). Critical samples were compared with samples in the Herbarium of the Tbilisi Institute of Botany and with collection of Stephantsminda Alpine Ecology Institute of

Ilia State University. The species nomenclature fits with the international nomenclature. We used The Plant List ([www.theplantlist.org](http://www.theplantlist.org)) and Pan-European Species Directories Infrastructure ([www.eu-nomen.eu/portal](http://www.eu-nomen.eu/portal)).

## ***2.2 Data analysis***

All the statistical analysis were performed by using statistical software SPSS 16.0 for Windows (Hammer *et al.*, 2001) and PCORD. 5. Data were first tested for normality using a Shapiro-Wilk test. As some parameters were not normally distributed, we used non-parametric Wilcoxon signed-rank test for paired samples. Mean, median, and standard error were calculated for each quantitative data set. Means were compared using one-way ANOVA ( $P < 0.05$ ) post hoc range tests. We also used ANOVA post hoc range test to investigate whether the average soil T°C, minimum soil T°C, June minimum T°C and GDD changed in the 1m x 1m quadrates from 2001 to 2008.

The difference in the number of 1-m<sup>2</sup> plots occupied by a species in 2001 versus 2008 was examined using a binominal test. Species that occurred in only 1 plot in 2001 were excluded from the list. To analyze the changes of the species cover at the 4 summits in 2001–2008, we picked out only species that occupied 3 or more 1-m<sup>2</sup> permanent plots, and their altitudinal distributions were treeline-alpine, alpine, alpine-subnival, and subnival. For testing changes in species cover, we used Wilcoxon's signed-rank test. We compared the 2 groups of significantly increasing and significantly decreasing species. To test the relation between these altitudinal classes and the 2 groups of species with increasing and decreasing cover, we applied a Fisher–Freeman–Halton exact test (Freeman and Halton, 1951).

Linear regression on the different measures of species richness with altitude and the different soil temperature-derived variables was also performed in SPSS. Polynomial regression by cubic effect was used for each graphic to fit a nonlinear relationship between

value of x (year and summits) and the corresponding conditional mean of y (temperature and number of days).

The definition of indicator species was done as keystone species: species whose strong interactions with other species generate effects that are large relative to their abundance. We used indicator species analysis (ISA) (Dufrene and Legendre, 1997) to describe the value of different species for indicating environmental condition. We performed a detrended correspondence analysis with the species data (main matrix) of all 64 permanent plots of the summit elevation classes (CP1, CP2, CP3, and CP4) using PC-ORD 5.32 software (McCune and Mefford, 1999). We used ISA to contrast the species present in the 4 topographic positions.

We used a paired test (Sokal & Rohlf, 1981) and ordination analysis to analyze the changes of the thermic vegetation indicator at the permanent plots between the two periods of time (2002/2008). Polynomial regression by cubic effect was used for each graph to fit a nonlinear relationship between the value of x (GDD and June mean of daily minimum temperature) and the corresponding conditional mean of y (thermic vegetation indicator S).

We used Canonical Component Analysis (CCA) of the species cover in 1m x 1m permanent plots and Dominance Curves test of PCORD.5 statistic program in order to test the species composition and determine dominant species on each summits. The species are ranked by cover and abundance. According the Dominance test the most abundant species are given rank 1, less abundant species- rank 2 and so on.

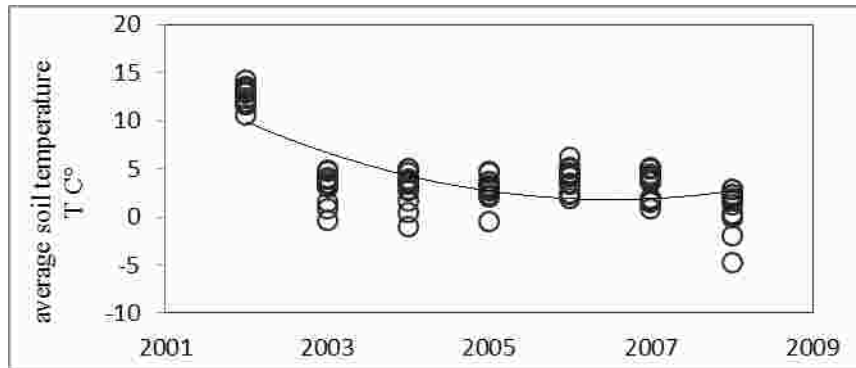
### ***3. Results***

#### ***3.1 Average soil temperature and GDD (growing degree day)***

Temperature recording by the data loggers allowed the analyzing of the temperature gradient in the soil's upper layer (10-cm depth) from 2002 to 2008. The average annual

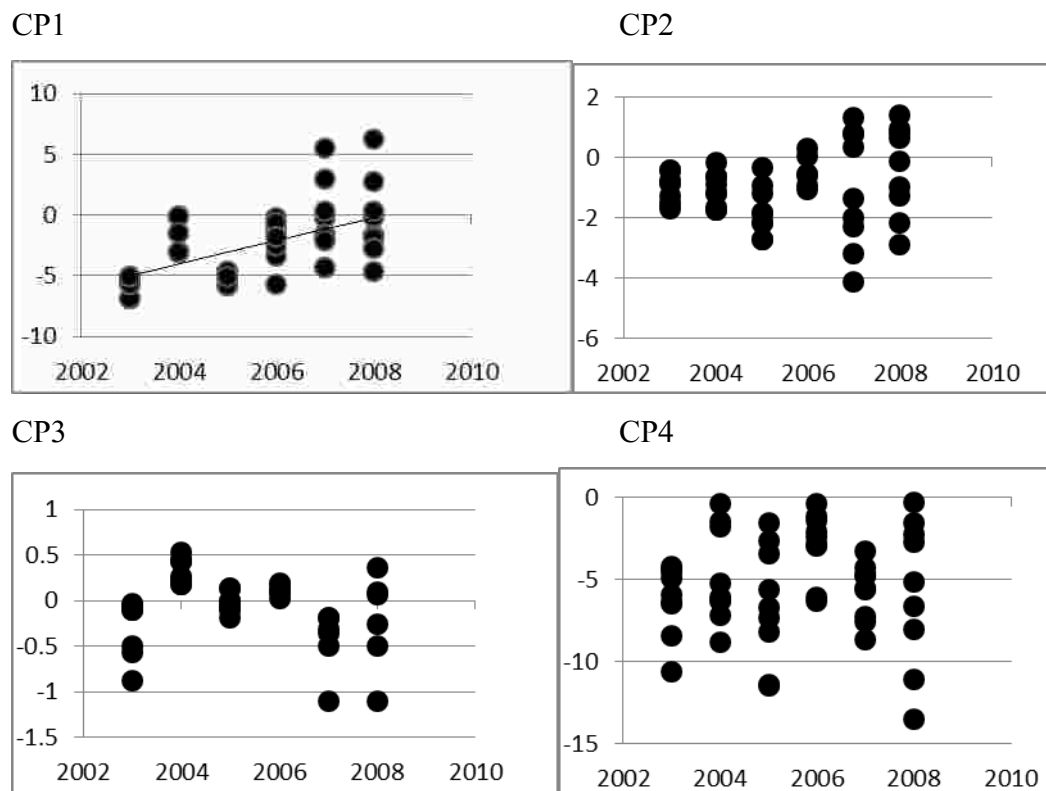
temperatures of the soil varied very significantly ( $P < 0.0001$ ) between the years with the highest temperature in 2002 on all 4 summits, and it showed a decline ( $R^2 = 0.8$ ) among the monitoring years (Fig. 5).

**Figure. 5 The Changes of average soil T and minimum soil T in 2002-2008 years.**



The changes of the annual minimum temperature for the study period showed a significant trend only in winter on the CP1 summit ( $P < 0.001$ ) (Fig. 6).

**Figure 6. The changes of annual minimum soil temperature during monitoring period.**



Calculation of June mean of daily minimum T ( $t=-1.85$ ,  $df=69$ ,  $P<0.001$ ) revealed significant differences between years, it was high in 2002, then decline.

According ANOVA post hoc test the difference between the maximum value of average soil temperature from lowest (CP1) to highest (CP4) summits was only 0.01 in 2002 years and in the colder year of 2008, the same value reached 3.29 °C (Table 2a, b)

**Table 2. The changes of annual average soil temperature in 2002-2008 years (a) and on four summits (b)(CP1 - 2240 m a.s.l.; CP2 - 2477 m a.s.l.; CP3 - 2815 m a.s.l.; CP4 - 3024 m a.s.l.).**

|    | Monitoring<br>years | Minimum T°C | Maximum<br>T°C | Mean              | St. Dev. | Std.Error |
|----|---------------------|-------------|----------------|-------------------|----------|-----------|
|    |                     |             |                |                   |          | Mean      |
| a) | 2002                | 10.9        | 14.7           | 12.43             | 1.118    | 0.395     |
|    | 2003                | -0.38       | 4.86           | 2.99              | 1.639    | 0.579     |
|    | 2004                | -0.93       | 5              | 2.79              | 1.771    | 0.626     |
|    | 2005                | -0.52       | 3.64           | 2.54              | 1.313    | 0.464     |
|    | 2006                | 1.98        | 6.18           | 3.79              | 1.376    | 0.486     |
|    | 2007                | 0.82        | 5.07           | 3.14              | 1.426    | 0.504     |
|    | 2008                | -4.75       | 3.32           | 0.95              | 2.695    | 0.952     |
|    | 2002                |             |                |                   |          |           |
| b) | Summit              | Mean        | St. Dev.       | Std.Error<br>Mean | Minimum  | Maximum   |
|    | CP1                 | -0.884      | 0.2072         | 0.0518            | -1.00    | -0.54     |
|    | CP2                 | 0.705       | 0.2945         | 0.0736            | 0.42     | 0.99      |
|    | CP3                 | 0.420       | 0.0041         | 0.0004            | 0.42     | 0.42      |
|    | CP4                 | 0.625       | 0.1859         | 0.0882            | -1.00    | -0.53     |
|    | 2008                |             |                |                   |          |           |
|    | CP1                 | 0.624       | 0.2679         | 0.0669            | 2.23     | 3.22      |
|    | CP2                 | 0.783       | 0.3479         | 0.8698            | 2.52     | 2.94      |
|    | CP3                 | 0.783       | 0.3250         | 0.0812            | 0.22     | 0.41      |
|    | CP4                 | -0.232      | 0.8186         | 0.2047            | -4.75    | -0.07     |

The difference between summits in 2002 and 2008 years was mostly significant ( $P < 0.001$ ). But in 2002 years the difference between CP1 and CP4 summits by average soil T°C and minimum soil T°C was not significant (Table 3 a).

**Table 3. The results of ANOVA post hoc test. Multiple Comparisons between summits by variables in 2002 (a) and 2008 (b) years (CP1 - 2240 m a.s.l.; CP2 - 2477 m a.s.l.; CP3 - 2815 m a.s.l.; CP4 - 3024 m a.s.l.)**

a)

| 2002       |     |     |                 |               |              |                         |             |
|------------|-----|-----|-----------------|---------------|--------------|-------------------------|-------------|
| Summits    |     |     | Mean difference | St.Error Mean | Sig.         | 95% Confidence interval |             |
|            |     |     |                 |               |              | Lower Bound             | Upper Bound |
| Average T  | CP1 | CP2 | -2.250          | 0.196         | 0.000        | -2.64                   | -1.86       |
|            |     | CP3 | -1.750          | 0.196         | 0.000        | -2.14                   | -1.36       |
|            |     | CP4 | -0.062          | 0.196         | <b>0.751</b> | -0.45                   | 0.33        |
| June min.T | CP1 | CP2 | -0.01750        | 0.06629       | 0.793        | -.1501                  | .1151       |
|            |     | CP3 | 0.10250         | 0.06629       | 0.127        | -.0301                  | .2351       |
|            |     | CP4 | -0.24750        | 0.06629       | 0.000        | -.3801                  | -.1149      |
| Min. T     | CP1 | CP2 | -8.000          | 0.946         | 0.000        | -9.89                   | -6.11       |
|            |     | CP3 | -10.250         | 0.946         | 0.000        | -12.14                  | -8.36       |
|            |     | CP4 | -0.250          | 0.946         | <b>0.793</b> | -2.14                   | 1.64        |

In 2008 the difference by average soil temperature was significant, but the difference by minimum soil T°C is less significant. The difference between the same summits by June minimum T°C was significant in both years (Table 3 b).

Table 3.

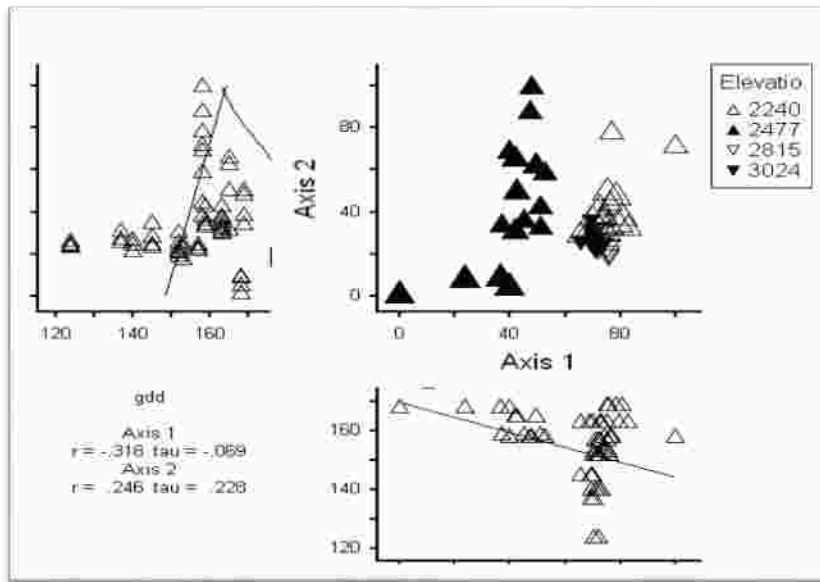
| 2008       |     |     |                 |               |              |                          |             |
|------------|-----|-----|-----------------|---------------|--------------|--------------------------|-------------|
| Summits    |     |     | Mean difference | St.Error Mean | Sig.         | 95% Confidence Intervale |             |
|            |     |     |                 |               |              | Lower Bound              | Upper Bound |
| Average T  | CP1 | CP2 | 0.60312         | 0.35767       | 0.097        | -0.1123                  | 1.3186      |
|            |     | CP3 | 0.70062         | 0.35767       | 0.055        | -0.0148                  | 1.4161      |
|            |     | CP4 | 4.59312         | 0.35767       | 0.000        | 3.8777                   | 5.3086      |
| June min.T | CP1 | CP2 | 0.43075         | 0.21659       | 0.051        | -0.0025                  | 0.8640      |
|            |     | CP3 | 2.71600         | 0.21659       | 0.000        | 2.2828                   | 3.1492      |
|            |     | CP4 | 3.03400         | 0.21659       | 0.000        | 2.6008                   | 3.4672      |
| Min.T      | CP1 | CP2 | -0.16250        | 1.70494       | 0.924        | -3.5729                  | 3.2479      |
|            |     | CP3 | -6.04000        | 1.70494       | 0.001        | -9.4504                  | -2.6296     |
|            |     | CP4 | 3.25000         | 1.70494       | <b>0.061</b> | -0.1604                  | 6.6604      |

b)

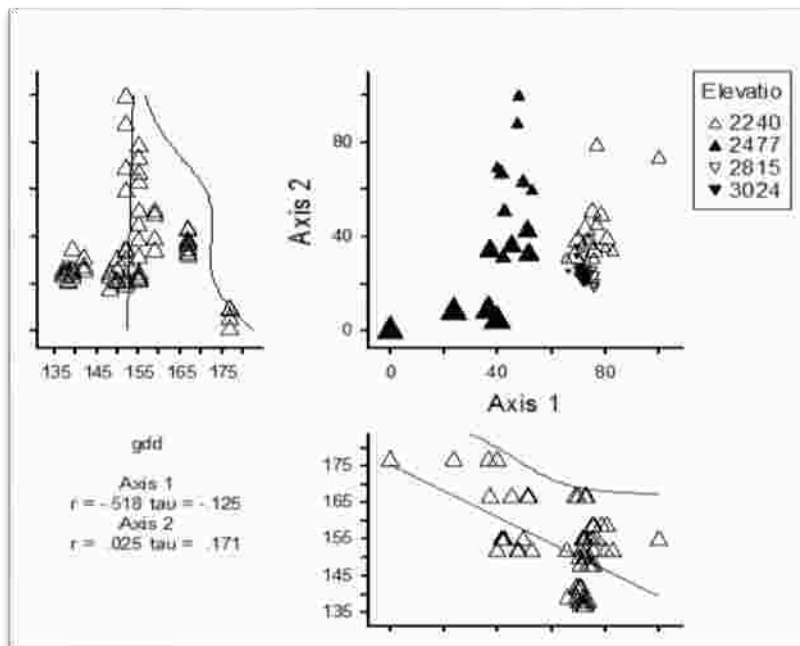
The defrosting period on the lowest summit, CP1, starts in April, and the mean daily temperatures persisted for the whole spring, summer, and part of autumn, falling below 2 °C in early November and thus lasting, on average,  $213.25 \pm 20.18$  days for the monitoring period. On the highest summit, CP4, the frost-free period was shorter:  $175.8 \pm 11.64$  days from the end of April through early October, more than 1 month less than that on the lowest summit. Calculation of GDD index (defined as the period with mean daily soil temperature above 2 °C) revealed significant differences among the summits ( $P < 0.001$ ), differing along the altitudinal gradient (Fig.7 A, B).

Figure 7. The changes of GDD along altitudinal gradient in 2002 (A) and 2007 (B) years.

A)



B)



GDD varied during study period ( $t=0.21$ ,  $df=13$ ,  $P = 0.089$ ), but there was not significantly increasing trend from 2002 to 2007 (Fig.8; Table 5).

Figure 8. The changes of GDD in different monitoring years (2002-2007) (b).

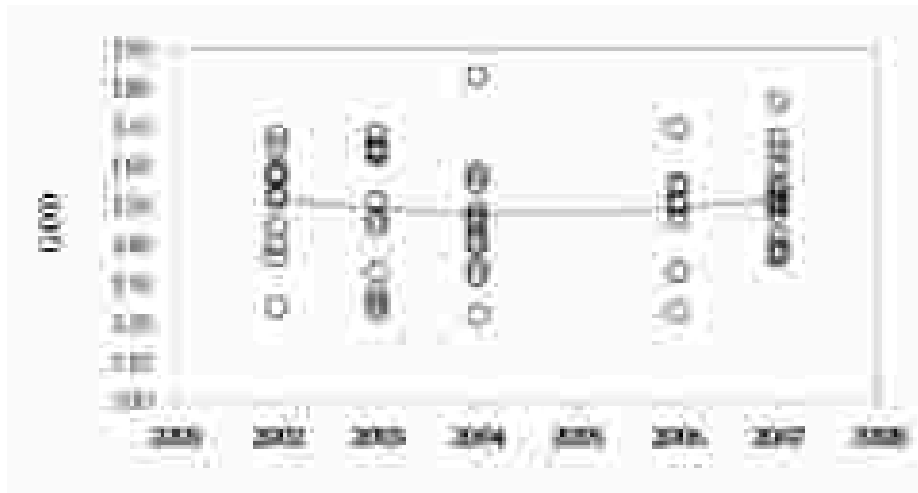


Table 5. The statistical table of the changes of GDD (growing degree day) during monitoring period (2002-2007).

|      | Mean    | St.Dev. | St.Error | t    | df | Mean Difference | 95% Interval | Confidence of Mean | P      |
|------|---------|---------|----------|------|----|-----------------|--------------|--------------------|--------|
|      |         |         |          |      |    |                 | Lower        | Upper              |        |
| 2002 | 1.556E2 | 11.913  | 4.208    | 36.9 | 7  | 155.62          | 145.67       | 165.57             | 0.001  |
| 2003 | 1.503E2 | 17.212  | 6.085    | 24.7 | 7  | 150.37          | 135.98       | 164.76             | 0.001  |
| 2004 | 1.147E2 | 18.156  | 6.419    | 22.9 | 7  | 147.25          | 132.07       | 162.42             | <0.001 |
| 2006 | 1.148E2 | 14.456  | 5.107    | 29.0 | 7  | 148.12          | 136.04       | 160.20             | 0.002  |
| 2007 | 1.151E2 | 11.656  | 4.117    | 36.8 | 7  | 151.75          | 142.01       | 161.48             | 0.001  |

### 3.2 Changes of species richness in the summit areas

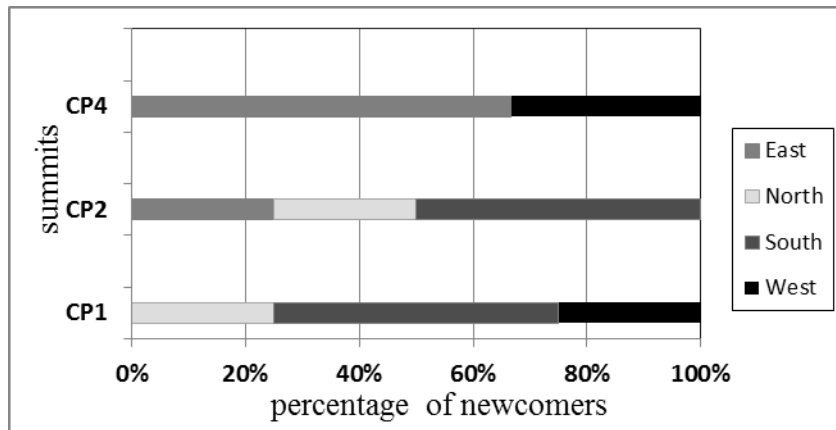
The absolute number of vascular plant species observed increased on 3 summits (CP1, CP2, CP4) from 2001 to 2008 (Table 6). Species richness per 1 m<sup>2</sup> increased during the monitoring period (2001–2008) by 6.9 on the lowest (CP1) summit and by 1.5 on the upper (CP4) summit (Table 6). Only 2 species each were not refound on CP2 (*Alchemilla chlorosericea* and *Euphrasia minima*) and on CP3 (*Alchemilla sericata* and *Anthoxantum odoratum*).

Table 6. Total number of vascular plant taxa at the four study summits and in 1m<sup>2</sup> for each summit (mean number with standart deviation) in 2001 and in 2008, number of new and lost species.

| Summits | Altitude | Number of species |      | Number of species 1m <sup>2</sup> |              | New sp. | Lost sp |
|---------|----------|-------------------|------|-----------------------------------|--------------|---------|---------|
|         |          | 2001              | 2008 | 2001                              | 2008         |         |         |
| CP1     | 2240     | 59                | 63   | 12.5 ± 2.87                       | 15.5 ± 3.12  | 4       | 0       |
| CP2     | 2477     | 71                | 77   | 17.6 ± 3.29                       | 21.06 ± 3.17 | 8       | 2       |
| CP3     | 2815     | 15                | 13   | 9.12 ± 1.2                        | 10.8 ± 1.68  | 0       | 2       |
| CP4     | 3024     | 29                | 32   | 5.25 ± 2.5                        | 6.65 ± 3.2   | 3       | 0       |

The percentage of newcomer species was highest on the southern slope, except the subnival zone, with the highest number of newcomer species toward the western compass direction. The altitudinal distribution of the newcomers was mainly of the montane-treeline-alpine classes, while only one species (*Scrophularia minima*) belonging to the alpine-subnival classes appeared on the western slope of the CP4 summit (Fig.9)

Figure 9. Percentage of newcomers after 7 years along the main expositions at the three summit (CP1, CP2 CP4).



There was a significant linear relationship between species richness and altitude in both years. Species richness also correlated with annual average soil temperature and GDD (Table 7).

Table 7. Results for Pearson's correlation tests for species richness in 1m<sup>2</sup> in 2001 and 2008 years.

|                  | Species richness in 1 m <sup>2</sup> |          |                 |          | Altitude        |          |                 |          | Average temperature |          |                 |          |
|------------------|--------------------------------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|---------------------|----------|-----------------|----------|
|                  | 2001                                 |          | 2008            |          | 2001            |          | 2008            |          | 2001                |          | 2008            |          |
|                  | <i>Per.Cor.</i>                      | <i>P</i> | <i>Per.Cor.</i> | <i>P</i> | <i>Per.Cor.</i> | <i>P</i> | <i>Per.Cor.</i> | <i>P</i> | <i>Per.Cor.</i>     | <i>P</i> | <i>Per.Cor.</i> | <i>P</i> |
| <i>Altitude</i>  | -0.675                               | < 0.001  | -0.701          | 0.001    |                 |          |                 |          |                     |          |                 |          |
| <i>Average T</i> | 0.389                                | 0.002    | 0.465           | < 0.001  | -0.191          | 0.31     | -0.719          | 0.001    |                     |          |                 |          |
| <i>GDD</i>       | 0.747                                | <0.001   | 0.646           | < 0.001  | -0.811          | 0.001    | -0.722          | 0.001    | 0.438               | 0.001    | 0.775           | 0.001    |

Changes in the number of 1-m<sup>2</sup> plots occupied by a species in 2001 versus 2008 revealed 2 directions: increased and decreased frequency of species distributed in these areas (Table 8). Eight species showed a significant expansion to new plots, whereas only 3 species reduced their plot occupancy. The expanding species included mostly treeline alpine plants.

**Table 8. Significant changes of species occurrences in the 1m<sup>2</sup> plots (tl-al - treeline to alpine species; al-alpine species; al-sn - alpine to subnival species; sn - subnival to nival species)**

| Species                         | Altitudinal distribution | Number of plots occupied |      | SD     | P     |
|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|------|--------|-------|
|                                 |                          | 2001                     | 2008 |        |       |
| <b>Increasing</b>               |                          |                          |      |        |       |
| <i>Campanula collina</i>        | <i>tl-al</i>             | 15                       | 17   | 1.4142 | 0.039 |
| <i>Festuca woronowii</i>        | <i>tl-al</i>             | 18                       | 19   | 0.7071 | 0.017 |
| <i>Poa alpina</i>               | <i>tl-al</i>             | 33                       | 37   | 2.8284 | 0.039 |
| <i>Ranunculus oreophilus</i>    | <i>tl-al</i>             | 12                       | 14   | 1.4142 | 0.048 |
| <i>Rhododendron caucasicum</i>  | <i>tl-al</i>             | 2                        | 6    | 2.8284 | 0.029 |
| <i>Taraxacum confusum</i>       | <i>tl-al</i>             | 7                        | 8    | 0.7071 | 0.042 |
| <i>Sibbaldia procumbens</i>     | <i>al-sn</i>             | 20                       | 21   | 0.7071 | .0015 |
| <i>Taraxacum stevenii</i>       | <i>al-sn</i>             | 24                       | 26   | 1.4142 | 0.025 |
| <b>Decreasing</b>               |                          |                          |      |        |       |
| <i>Deschampsia flexuosa</i>     | mo-tl-al                 | 8                        | 7    | 0.7072 | 0.042 |
| <i>Alchemilla sericata</i>      | tl-al                    | 29                       | 17   | 2.4851 | 0.026 |
| <i>Alchemilla chlorosericea</i> | sn                       | 13                       | 12   | 0.7071 | 0.025 |

### ***3.3 Species cover and Dominant species***

Only 68 species from a total 143 vascular plant species described on the 4 summits revealed at least 3 plot preferences in both 2001 and 2008. Among them, the cover percentage of 17 species significantly decreased, while 5 others increased in cover (Table 9). The highest decrease in cover was seen for treeline-alpine species *Alchemilla sericata* (–58.83%), and the other species decreasing in cover were alpine-subnival species such as *Luzula spicata* L. DC. (–29.17%), *Saxifraga exarata* Vill. (–27.63%), *Sibbaldia procumbens* L. (–19.18%), and *Taraxacum stevenii* DC. (–7.28%), and subnival species such as *Matricaria breviradiata* (Lebed.) Rauschert (–41.4%) and *Veronica telephiifolia* Vahl (–14.27%). The

species with increased cover percentage were predominantly taxa with a distribution center in the treeline-alpine zone, such as *Anthoxanthum odoratum* L. (20.3%), and alpine *Carumcaucasicum* (M.Bieb.) Boiss. (18.11%). Only 1 was an alpinesubnival species, *Alchemilla caucasica* Buser (1.6%), and 1 was a subnival species, *Alchemilla chlorosericea* (7.2%).

**Table 9. Significant changes of species cover between 2001 and 2008.**

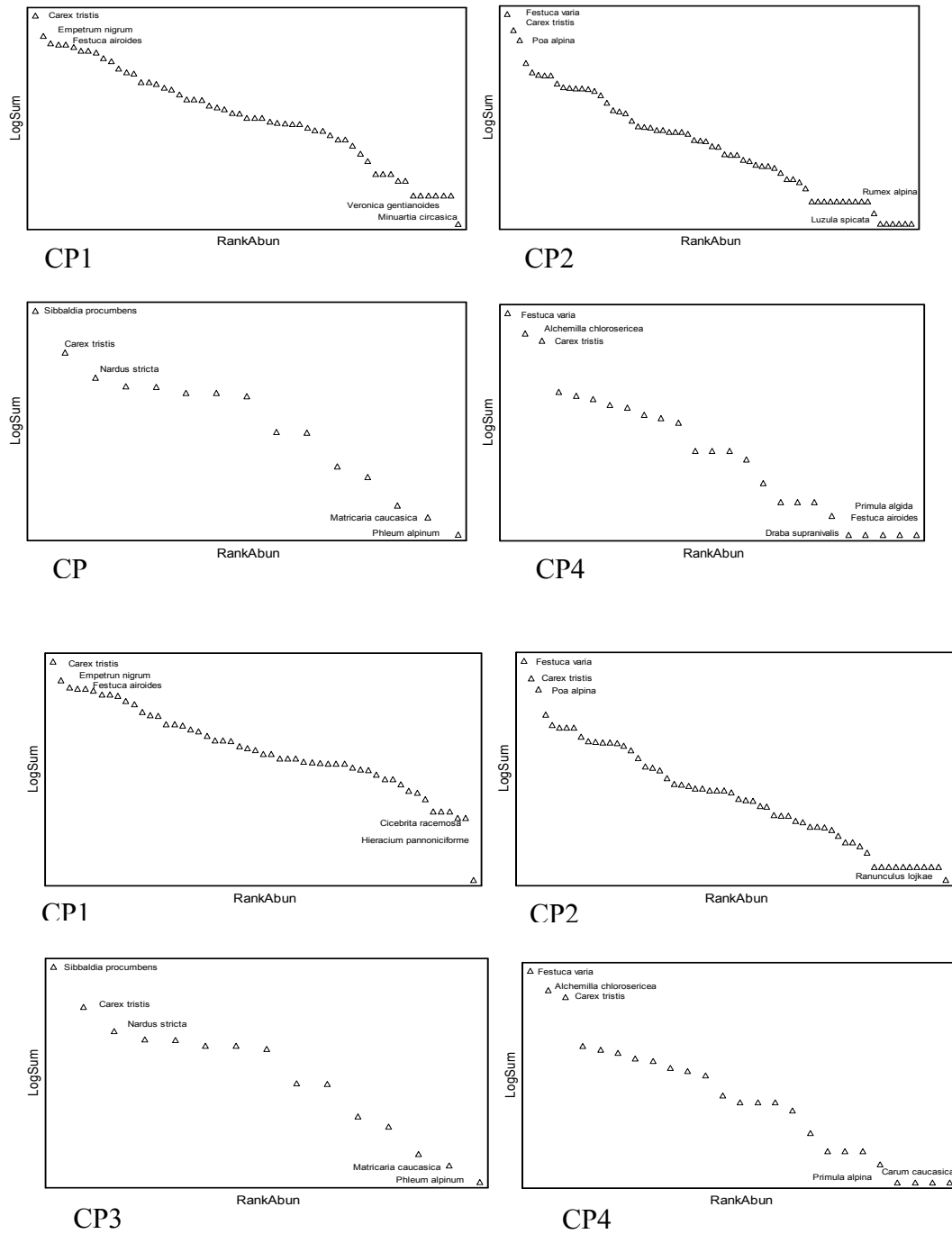
| <i>Species</i>                  | <i>Altitudinal distribution</i> | <i>Mean± St. deviation in 2001</i> | <i>Mean± St. deviation in 2008</i> | <i>Mean percentage change</i> | <i>P</i> |
|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|----------|
| <b>Decreasing</b>               |                                 |                                    |                                    |                               |          |
| <i>Alchemilla sericata</i>      | <i>tl-al</i>                    | 10.14 ± 6.79                       | 4.18 ± 3.24                        | -58.83                        | 0.002    |
| <i>Deschampsia flexuosa</i>     | <i>tl-al</i>                    | 8.01 ± 4.33                        | 5.97 ± 0.75                        | -25.47                        | 0.01     |
| <i>Festuca airoides</i>         | <i>tl-al</i>                    | 7.4 ± 5.37                         | 5.94 ± 0.35                        | -19.86                        | <0.001   |
| <i>Festuca ovina</i>            | <i>tl-al</i>                    | 25.44 ± 11.85                      | 24.53 ± 11.17                      | -3.61                         | <0.001   |
| <i>Potentilla crantzii</i>      | <i>tl-al</i>                    | 2.9 ± 4.006                        | 2.25 ± 3.59                        | -12.17                        | <0.001   |
| <i>Rhododendron caucasicum</i>  | <i>tl-al</i>                    | 2.1 ± 2.001                        | 1.4 ± 1.25                         | -28.5                         | 0.02     |
| <i>Cerastium purpurascens</i>   | <i>tl-al</i>                    | 1.01 ± 0.023                       | 0.9 ± 0.24                         | -10.9                         | 0.001    |
| <i>Antennaria caucasica</i>     | <i>al</i>                       | 2.27 ± 2.05                        | 2.09 ± 1.48                        | -7.6                          | <0.001   |
| <i>Fritillaria lutea</i>        | <i>al</i>                       | 1.1 ± 0.45                         | 0.48 ± 0.303                       | -52                           | 0.004    |
| <i>Kobresia capilliformis</i>   | <i>al</i>                       | 8.25 ± 6.39                        | 4.6 ± 3.507                        | -44.25                        | 0.03     |
| <i>Leontodon hispidus</i>       | <i>al</i>                       | 3.3 ± 1.86                         | 2.82 ± 1.09                        | -14.55                        | 0.015    |
| <i>Luzula spicata</i>           | <i>al-sn</i>                    | 3.1 ± 2.309                        | 2.12 ± 1.86                        | -29.17                        | 0.01     |
| <i>Saxifraga exarata</i>        | <i>al-sn</i>                    | 3 ± 2.89                           | 2.17 ± 2.001                       | -27.63                        | 0.03     |
| <i>Sibbaldia procumbens</i>     | <i>al-sn</i>                    | 24.15 ± 9.92                       | 19.52 ± 8.31                       | -19.18                        | <0.001   |
| <i>Taraxacum stevenii</i>       | <i>al-sn</i>                    | 3.62 ± 2.901                       | 3.36 ± 2.704                       | -7.28                         | 0.006    |
| <i>Matricaria caucasica</i>     | <i>sn</i>                       | 2.1 ± 1.67                         | 1.17 ± 1.09                        | -41.4                         | 0.01     |
| <i>Veronica telephiifolia</i>   | <i>sn</i>                       | 2.33 ± 0.57                        | 2.1 ± 0.81                         | -14.27                        | 0.007    |
| <b>Increasing</b>               |                                 |                                    |                                    |                               |          |
| <i>Anthoxanthum odoratum</i>    | <i>tl-al</i>                    | 8.1 ± 3.07                         | 9.75 ± 5.98                        | 20.3                          | 0.021    |
| <i>Gentiana septemfida</i>      | <i>tl-al</i>                    | 2.29 ± 2.56                        | 2.23 ± 2.37                        | 1.75                          | 0.005    |
| <i>Carum caucasicum</i>         | <i>al</i>                       | 2.76 ± 2.15                        | 3.27 ± 3.21                        | 18.11                         | <0.001   |
| <i>Alchemilla caucasica</i>     | <i>al-sn</i>                    | 3.6 ± 1.67                         | 4.2 ± 2.56                         | 1.6                           | 0.04     |
| <i>Alchemilla chlorosericea</i> | <i>sn</i>                       | 5.87 ± 2.25                        | 6.25 ± 2.36                        | 7.02                          | 0.027    |

$\alpha=0.05$ ; *tl-al*, treeline-alpine species; *al*, alpine species; *al-sn*, alpine to subnival species; *sn*, subnival-nival species.

We used Dominance Curve test of PCOR.5 statistical programme to analyse the abundance rank of dominant species. In the table 10 and figure 10 we show the abundance rank of same dominant species, especially with high rank from 1 to 5.

Figure 10. Dominance Curve Test.. Rank abundance of species in all summit (CP1, CP2, CP3, CP4) in 2001 (A) and 2008 (B)

A,



**Table 10. . The results of Dominance Test. Rank abundance and other statistical dates of the dominant species on each summit (CP1, CP2, CP3, CP4) in 2001 and 2008 years.**

| Species                  | RanKAbund<br>2001 | RanKAbund<br>2008 | RankFreq | Freq | Mean   | St. D  |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------|------|--------|--------|
| <b>CP1</b>               |                   |                   |          |      |        |        |
| Carex tristis            | 1                 | 1                 | 1        | 13   | 9.906  | 8.948  |
| Empetrum nigrum          | 2                 | 2                 | 6        | 4    | 5.187  | 11.956 |
| Festuca airoides         | 3                 | 3                 | 5        | 9    | 4.094  | 6.563  |
| Bromus variegatus        | 4                 | 4                 | 6        | 7    | 3.968  | 5.368  |
| Agrostis capillaris      | 5                 | 5                 | 12       | 5    | 3.937  | 6.276  |
| <b>CP2</b>               |                   |                   |          |      |        |        |
| Festuca varia            | 1                 | 1                 | 7        | 10   | 20.125 | 19.449 |
| Carex tristis            | 2                 | 2                 | 2        | 14   | 12.200 | 3.228  |
| Poa alpina               | 3                 | 3                 | 3        | 13   | 9.000  | 7.659  |
| Anthoxantum odoratum     | 4                 | 4                 | 13       | 7    | 4.437  | 7.966  |
| Festuca airoides         | 5                 | 5                 | 8        | 8    | 3.343  | 4.791  |
| <b>CP3</b>               |                   |                   |          |      |        |        |
| Sibbaldia procumbens     | 1                 | 1                 | 1        | 16   | 23.750 | 8.690  |
| Carex tristis            | 2                 | 2                 | 2        | 14   | 8.937  | 6.647  |
| Nardus stricta           | 3                 | 3                 | 4        | 13   | 5.000  | 6.186  |
| Plantago atrata          | 4                 | 4                 | 5        | 13   | 4.062  | 3.492  |
| Carum Caucasicum         | 5                 | 5                 | 3        | 13   | 4.000  | 3.983  |
| <b>CP4</b>               |                   |                   |          |      |        |        |
| Festuca varia            | 1                 | 1                 | 3        | 8    | 7.062  | 11.636 |
| Alchemilla chlorosericea | 2                 | 2                 | 1        | 12   | 4.562  | 3.794  |
| Carex tristis            | 3                 | 3                 | 2        | 10   | 3.937  | 4.654  |
| Anthemis iberica         | 4                 | 4                 | 6        | 6    | 1.312  | 2.750  |
| Alchemilla retinervis    | 5                 | 5                 | 7        | 4    | 1.218  | 2.750  |

On the lower summits (CP1 and CP2) the dominant species were mostly grasses. One of them is Caucasus endemic (*Bromus variegatus*). On the higher summits (CP3 and CP4) only two species of grasses had high abundance rank: *Nardus stricta* (RankAbun-3) on CP3 and *Festuca varia* (RankAbun-1) on CP4. *Carex tristis* had high abundance rank on all summits,

but on the lower summits the rank was higher than on the higher summits. The abundance rank of less abundance species changed insignificantly in 2008 years. On CP1 summit the abundance rank of *Hieracium pannoniciforme* changed from 50 to 52 and *Cicerbirta racemosa*-from 49 to 51. On CP2 summit the abundance rank of *Luzula multiflora* changed from 66 to 63, *Rumex alpinus* - from 66 to 59 and *Primula algida* - from 50 to 52. On CP3 and CP4 summits the abundance rank of less abundant species did not change. The abundance rank of some endemic species (*Veronica telephiifolia*, *Draba hispida*, *Rhododendron caucasicum*, *Dryas caucasica*) did not decrease importantly during monitoring period. . The coefficient of similarity ( $S_s$ - Sørensen coefficient) of the summits in 2001 and 2008 years was high (for CP1- 0.492; CP2- 0.489; CP3- 0.625; CP4- 0.487), especially for the CP3 summit. In 2008 year only the frequency of montane-treeline species (AR 5) increased significantly (AR 5:  $z = 2.561$ ,  $P = 0.012$ ) (Table 11).

**Table 11. Changes in AR frequencies between 2001-2008 years in the Central Greater Caucasus (significant  $P < 0.05$ ; ↑-increase, ↓-decrease).**

| AR(Altitudinal distribution range) | Trend | $z$   | $P$          |
|------------------------------------|-------|-------|--------------|
| 1                                  | ↓     | 0.899 | 0.217        |
| 2                                  | ↑     | 0.574 | 0.542        |
| 3                                  | ↑     | 0.167 | 0.753        |
| 4                                  | ↑     | 1.892 | 0.058        |
| 5                                  | ↑     | 2.561 | <b>0.012</b> |
| 6                                  | ↑     | 1.732 | 0.162        |

### 3.4 The thermic vegetation indicator $S$ and the thermophilization indicator $D$

We calculated the thermic vegetation indicator  $S$  for the present (2008) and historic (2001) dataset.  $S$  varied at different altitude and exposition. Thermic vegetation indicator decreased significantly on the three summits ( $z=3.211$ ,  $P=0.001$ ), especially on CP3 summit (Fig.11 ).

**Figure 11.** The difference of the thermic vegetation indicator  $S$  in the given period of time (2002/2008) on four summits (CP1, CP2, CP3, CP4) in 2002 (black) and 2008 years (grey). (CP1 - 2240 m a.s.l.; CP2 - 2477 m a.s.l.; CP3 - 2815 m a.s.l.; CP4 - 3024 m a.s.l.; )

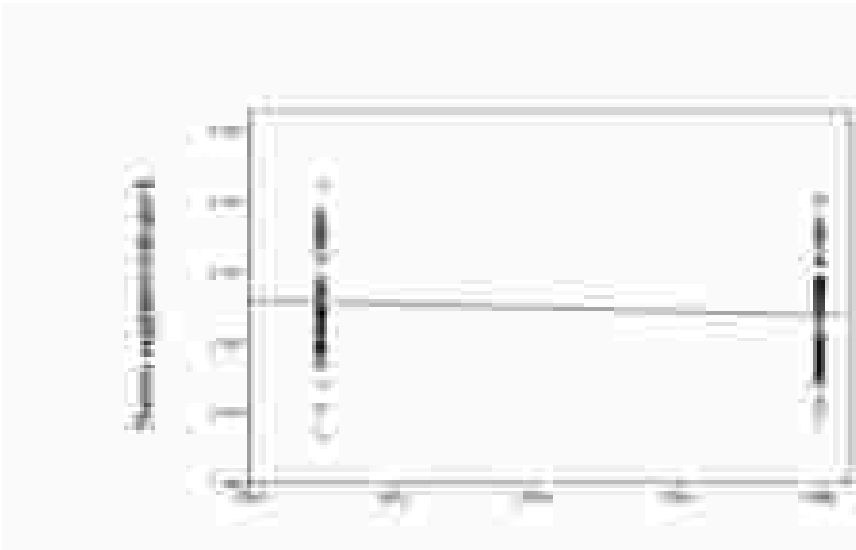


$D$  varied significantly at the plot level ( $t = 3.2$ ,  $df = 61$ ,  $P = 0.032$ ), but the statistical significance is not high. The regression analysis was used to show that the difference of the thermic vegetation indicator  $S$  in the given period of time (2002/2008) was negative ( $R^2=0.015$ ,  $F = 1.877$ ,  $b1 = -0.030$ ,  $P= 0.073$ ) but less significant (Table 12, Fig. 12).

**Table 12. The mean, minimum and maximum data of the thermophilization indicator D on four summits.**

| Summit | Mean    | Std. Dev | Std. Error mean | Minimum | Maximum |
|--------|---------|----------|-----------------|---------|---------|
| CP1    | -0.1063 | 0.4029   | 0.1007          | -0.92   | 0.48    |
| CP2    | -0.0412 | 0.1746   | 0.0436          | -0.39   | 0.32    |
| CP3    | -0.4800 | 0.5451   | 0.1362          | -1.76   | 0.81    |
| CP4    | 0.0388  | 0.3446   | 0.0537          | -0.35   | 1.03    |

**Figure. 12 The changes of thermic vegetation indicator S during monitoring period (2001-2008).**

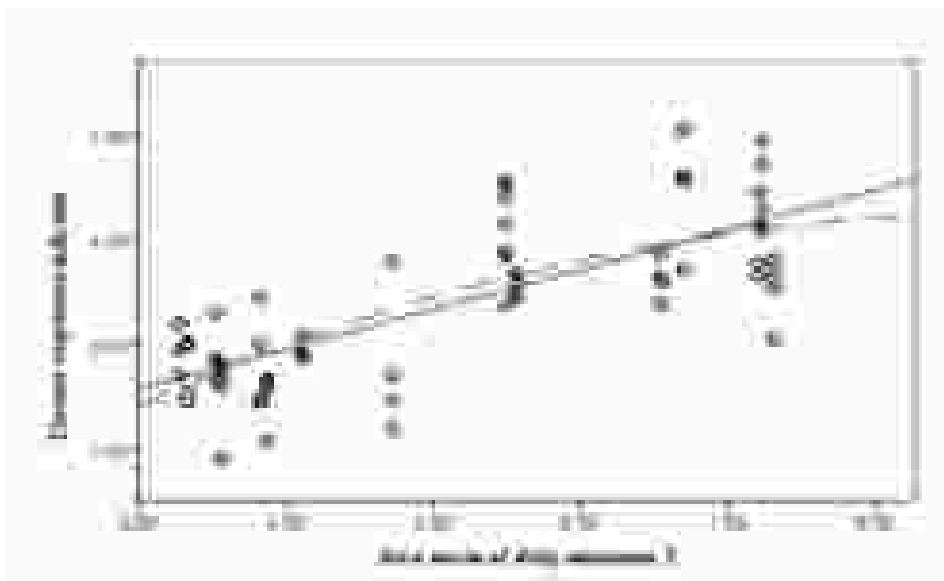


The present score of the thermic vegetation indicator  $S$  correlated with two climatic factors: June mean of daily minimum  $T$  °C ( $r = 0.686$ ,  $P = 0.031$ ) and GDD ( $r = 0.576$ ,  $P < 0.012$ ) (table 13, Fig. 13).

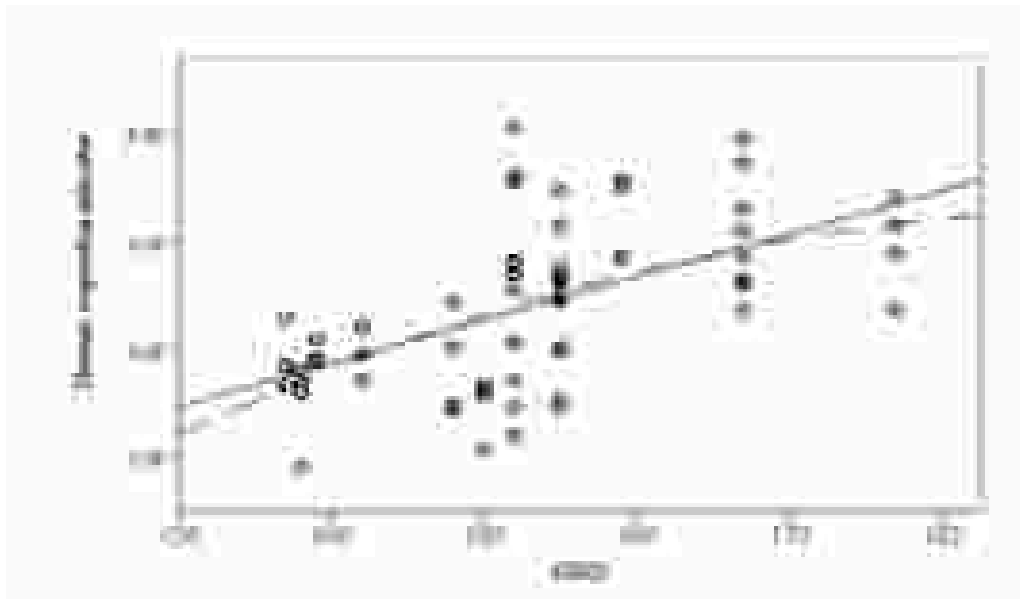
**Table 13. Pearson correlation between variables: thermic vegetation indicator, GDD, average soil temperature and June mean of daily minimum temperature.**

|                                | Thermic vegetation indicator S | GDD   | Average soil T°C | June mean of daily minimum T°C |
|--------------------------------|--------------------------------|-------|------------------|--------------------------------|
| Thermic vegetation indicator S | 1.000                          | 0.576 | 0.462            | 0.686                          |
| GDD                            | 0.576                          | 1.000 | 0.688            | 0.426                          |
| Average soil T°C               | 0.426                          | 0.688 | 1.000            | 0.440                          |
| June mean of daily minimum T°C | 0.686                          | 0.426 | 0.440            | 1.000                          |

**Figure 13. Dependence of the present score (thermic vegetation indicator - 2008 year) on local climate. A- dependence on growing degree days (GDD). B –dependence on June mean of daily minimum temperature.**



A)



B)

### 3.5 Indicator species

According to the ISA, we found some significant indicator species of particular exposition on the 4 summits (Table 14). In 2001 on the CP1 summit, 3 species (*Empetrum nigrum* subsp. *caucasicum* (Juz.) Kuvaev, *Vaccinium vitisidaea* L., *Hieracium pilosella* L.) were significant indicators of the north slope and 1 species (*Vicia cracca* subsp. *Cracca* L.) indicated the west slope. All of its occurrences were only in north (3 species) and west (1 species) exposition.

Three species (*Empetrum nigrum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Vicia cracca*) occurred on 100% of plots and *Hieracium pilosella* occurred on 75% of the plots. The randomization test showed that the probability of an indicator value of 75 or 100, given this species' distribution of abundances, was significant ( $P < 0.05$ ). On the CP2 summit, 4 species (*Carex atrata* L., *Matricaria brachyactis*, *Sibbaldia procumbens*, and *Luzula stenophylla* Steud.) indicated the

north exposition and 2 species (*Geranium ibericum* Cav. and *Trifolium trichocephalum* M.Bieb.) were significant indicators of the south slope. On CP3 we did not find the significant indicator species. On CP4 only one species, *Veronica telephiifolia*, indicated the west exposition. In 2008 the indicator value (IV) of the indicator species did not change, but on the CP2 summit we found a new indicator species of the west exposition: *Campanula tridentata* subsp. *biebersteiniana* (Schult.) Ogan. (Table 14).

**Table 14. relative abundance (%), frequency (%) and indicator value (IV) of species of the 3 summits (CP1, CP2, CP4) in the 4 expositions**

| Species                             | Relative abundance (%) |          |            |          |            | Relative frequency (%) |          |            |          |            | Monte Carlo test                          |             |              |               |
|-------------------------------------|------------------------|----------|------------|----------|------------|------------------------|----------|------------|----------|------------|-------------------------------------------|-------------|--------------|---------------|
| CP1                                 | Exposition             |          |            |          |            | Exposition             |          |            |          |            | Indicator value<br>from randomized groups |             |              |               |
|                                     |                        |          |            |          |            |                        |          |            |          |            |                                           |             |              |               |
|                                     | Max..                  | East     | North      | South    | West       | Max..                  | East     | North      | South    | West       | Indicator<br>value                        | Mean        | SD           | <i>P</i>      |
| <i>Deschapsia flexuosa</i>          | 80                     | 80       | 20         | 0        | 0          | 100                    | 100      | 50         | 0        | 0          | 79.9                                      | 30/8        | 13.23        | 0.0086        |
| <i>Trifolium ambiguum</i>           | 66                     | 66       | 17         | 17       | 0          | 100                    | 100      | 100        | 75       | 0          | 66.1                                      | 40.5        | 12.33        | 0.0462        |
| <i>Taraxacum confusum</i>           | 81                     | 81       | 0          | 19       | 0          | 75                     | 75       | 0          | 25       | 0          | 61.1                                      | 29          | 15.08        | 0.0888        |
| <b><i>Empetrum nigrum</i></b>       | <b>100</b>             | <b>0</b> | <b>100</b> | <b>0</b> | <b>0</b>   | <b>100</b>             | <b>0</b> | <b>100</b> | <b>0</b> | <b>0</b>   | <b>100</b>                                | <b>28.2</b> | <b>14.95</b> | <b>0.0034</b> |
| <b><i>Vaccinium vitis-idaea</i></b> | <b>100</b>             | <b>0</b> | <b>100</b> | <b>0</b> | <b>0</b>   | <b>100</b>             | <b>0</b> | <b>100</b> | <b>0</b> | <b>0</b>   | <b>100</b>                                | <b>28</b>   | <b>14.71</b> | <b>0.0034</b> |
| <b><i>Hieracium pilosella</i></b>   | <b>100</b>             | <b>0</b> | <b>100</b> | <b>0</b> | <b>0</b>   | <b>75</b>              | <b>0</b> | <b>75</b>  | <b>0</b> | <b>0</b>   | <b>75</b>                                 | <b>25.2</b> | <b>14.19</b> | <b>0.0276</b> |
| <i>Euphrasia hirtella</i>           | 91                     | 0        | 5          | 91       | 5          | 100                    | 0        | 25         | 100      | 25         | 90.9                                      | 31.9        | 13.88        | 0.001         |
| <i>Bromus variegatus</i>            | 61                     | 0        | 2          | 61       | 36         | 100                    | 0        | 25         | 100      | 50         | 61.4                                      | 30.4        | 11.73        | 0.028         |
| <i>Potentilla crantzii</i>          | 83                     | 0        | 0          | 83       | 17         | 75                     | 0        | 0          | 75       | 25         | 62.5                                      | 27.5        | 13.92        | 0.0788        |
| <b><i>Vicia cracca</i></b>          | <b>100</b>             | <b>0</b> | <b>0</b>   | <b>0</b> | <b>100</b> | <b>100</b>             | <b>0</b> | <b>0</b>   | <b>0</b> | <b>100</b> | <b>100</b>                                | <b>26.6</b> | <b>13.01</b> | <b>0.0034</b> |
| <i>Carex tristis</i>                | 50                     | 3        | 17         | 30       | 50         | 100                    | 25       | 100        | 100      | 100        | 50.5                                      | 35          | 6.85         | 0.026         |
| <i>Alchemilla caucasica</i>         | 100                    | 0        | 0          | 0        | 100        | 75                     | 0        | 0          | 0        | 75         | 75                                        | 25.6        | 14.14        | 0.0304        |

| Species                                | Relative abundance (%) |          |            |            |            | Relative frequency(%) |          |            |            |           | Monte Carlo test |                              |              |               |
|----------------------------------------|------------------------|----------|------------|------------|------------|-----------------------|----------|------------|------------|-----------|------------------|------------------------------|--------------|---------------|
|                                        | Exposition             |          |            |            |            | Exposition            |          |            |            |           | Indicator        | value from randomized groups |              |               |
|                                        | Max.                   | East     | North      | South      | West       | Max.                  | East     | North      | South      | West      | Indicator value  | Mean.                        | St. Dev.     | <i>P</i>      |
| CP2                                    |                        |          |            |            |            |                       |          |            |            |           |                  |                              |              |               |
| <i>Potentilla crantzii</i>             | 85                     | 85       | 0          | 0          | 15         | 100                   | 100      | 0          | 0          | 50        | 84.7             | 35.7                         | 15.87        | 0.0176        |
| <b><i>Carex atrata</i></b>             | <b>100</b>             | <b>0</b> | <b>100</b> | <b>0</b>   | <b>0</b>   | <b>100</b>            | <b>0</b> | <b>100</b> | <b>0</b>   | <b>0</b>  | <b>100</b>       | <b>28.7</b>                  | <b>14.74</b> | <b>0.0026</b> |
| <b><i>Matricaria breviradiata</i></b>  | <b>100</b>             | <b>0</b> | <b>100</b> | <b>0</b>   | <b>0</b>   | <b>100</b>            | <b>0</b> | <b>100</b> | <b>0</b>   | <b>0</b>  | <b>100</b>       | <b>32.8</b>                  | <b>15.59</b> | <b>0.0026</b> |
| <b><i>Sibbaldia procumbens</i></b>     | <b>100</b>             | <b>0</b> | <b>100</b> | <b>0</b>   | <b>0</b>   | <b>100</b>            | <b>0</b> | <b>100</b> | <b>0</b>   | <b>0</b>  | <b>100</b>       | <b>26.2</b>                  | <b>12.61</b> | <b>0.0026</b> |
| <i>Anthoxanthum odoratum</i>           | 80                     | 20       | 80         | 0          | 0          | 100                   | 75       | 100        | 0          | 0         | 80.3             | 32.9                         | 13.29        | 0.0126        |
| <i>Festuca airoides</i>                | 68                     | 21       | 68         | 0          | 11         | 100                   | 50       | 100        | 0          | 50        | 68.2             | 32.8                         | 12.05        | 0.0136        |
| <i>Veronica gentianoides</i>           | 64                     | 12       | 64         | 0          | 24         | 100                   | 25       | 100        | 0          | 25        | 64.3             | 29.2                         | 12.28        | 0.0254        |
| <b><i>Luzula stenophylla</i></b>       | <b>100</b>             | <b>0</b> | <b>100</b> | <b>0</b>   | <b>0</b>   | <b>75</b>             | <b>0</b> | <b>75</b>  | <b>0</b>   | <b>0</b>  | <b>75</b>        | <b>26</b>                    | <b>14.51</b> | <b>0.0266</b> |
| <i>Agrostis capillaris</i>             | 85                     | 0        | 85         | 0          | 15         | 75                    | 0        | 75         | 0          | 25        | 63.6             | 26.5                         | 12.77        | 0.0294        |
| <b><i>Geranium ibericum</i></b>        | <b>100</b>             | <b>0</b> | <b>0</b>   | <b>100</b> | <b>0</b>   | <b>100</b>            | <b>0</b> | <b>0</b>   | <b>100</b> | <b>0</b>  | <b>100</b>       | <b>28.3</b>                  | <b>14.09</b> | <b>0.0024</b> |
| <b><i>Trifolium trichocephalum</i></b> | <b>100</b>             | <b>0</b> | <b>0</b>   | <b>100</b> | <b>0</b>   | <b>75</b>             | <b>0</b> | <b>0</b>   | <b>75</b>  | <b>0</b>  | <b>75</b>        | <b>29.1</b>                  | <b>14.03</b> | <b>0.0272</b> |
| <i>Fritillaria lutea</i>               | 79                     | 21       | 0          | 0          | 79         | 100                   | 25       | 0          | 0          | 100       | 79.2             | 28.7                         | 13.02        | 0.0078        |
| <i>Carex tristis</i>                   | 44                     | 29       | 8          | 19         | 44         | 100                   | 100      | 75         | 75         | 100       | 43.5             | 33.9                         | 5.14         | 0.0446        |
| CP4                                    |                        |          |            |            |            |                       |          |            |            |           |                  |                              |              |               |
| <i>Alchemilla retinervis</i>           | 97                     | 97       | 0          | 3          | 0          | 75                    | 75       | 0          | 25         | 0         | 73.1             | 27.4                         | 14.67        | 0.0284        |
| <b><i>Veronica telephiifolia</i></b>   | <b>100</b>             | <b>0</b> | <b>0</b>   | <b>0</b>   | <b>100</b> | <b>75</b>             | <b>0</b> | <b>0</b>   | <b>0</b>   | <b>75</b> | <b>75</b>        | <b>25</b>                    | <b>14.27</b> | <b>0.0288</b> |
| <i>Festuca woronowii</i>               | 65                     | 65       | 11         | 24         | 0          | 100                   | 100      | 25         | 75         | 0         | 65.5             | 35.2                         | 13.35        | 0.0498        |

## Discussion

In 2001–2008, studies conducted in the framework of the GLORIA project at 4 different altitudes of the Central Greater Caucasus clearly showed the changes in species richness and cover. In 2008, 15 new species were recorded in comparison with 2001 on the permanent research plots.

In 2002 and 2003, the average soil annual temperature was especially high. In the following years, the temperature decreased. This was confirmed by the data recorded by the used loggers as well as findings of a large-scale survey conducted throughout Georgia (Elizbarashvili et al., 2009). During monitoring period (2001–2008) average annual soil temperature did not increase. Although in 2002 year the difference between the maximum values of average soil temperature from the lowest (CP1) to the highest (CP4) summits was very low. According ANOVA statistic the difference by this variable between the same summits was not significant in 2002. The segregation between CP1 and CP4 summits by minimum soil T°C also was not significant in 2002. It may be a direct effect of the exceptionally warm summer in this year. June mean of daily minimum temperature also was high in 2002, but decreased in the following years (Gigauri et al., 2013). This fact confirms the hypothesis that global climate warming is expected to shift ranges of plant species adapted to concrete climatic conditions to higher altitudes (Korner, 2009; Gottfried et al., 2012).

The temperature inter-annual variability, shown by our data, is a normal phenomenon and plants are generally able to tolerate short-term fluctuation through phenotypic plasticity, but low value of difference of average and minimum soil T°C from the lowest to the highest summits may cause plant species to shift distribution to higher altitudes. Warming effect could be driven by two main mechanisms: filling process and moving processes, due to the immigration of thermophilic species from the lower altitude (Gottfried et al., 2012, Stanisci et al., 2014). Vertical shifting of species was recorded in the Central Greater Caucasus in

earlier publications (Nathutsrishvili, 2003; Akhalkatsi et al., 2006, Togonidze & Akhalkatsi, 2015). Six-eight years old individuals of *Betula litwinowii* were found at 2200-2550 m a.s.l. According to Pauli et al., (2012) in other GLORIA target regions species were shifting their distribution by 2.7m on average.

During the monitoring period the changes of GDD did not show an increasing trend, and average soil temperature significantly increased ( $P < 0.001$ ) only I in winter on the CP1 summit.

Species number per summit was increased on all 4 summit areas during the 7 years, as was the case in most of the boreal-temperate mountain regions. According to Pauli et al., (2012) vascular plant species number increased on 45 GLORIA target regions (especially in the boreal temperate mountains) and decreased on 10 summits (mainly in Mediterranean region). Such alternation in Mediterranean areas is a result of warmer conditions the combination of rising temperatures and stable-to-decreasing precipitation sum such as was recently documented for the southern Europe for the past decades (Mariotti et al., 2008; Del Rio et al., 2011). Decrease in species number was rarely recorded during the monitoring of the Central Alps (Gottfried et al., 1998; Grabherr et al., 2001; Walther et al., 2005), with the exception of the decline of nival and subnival species resulting from the expanding growth of alpine species (Klanderud and Birks, 2003; Pauli et al., 2007). Increase of species richness at lower altitudes was also recorded (Michelsen et al., 2011).

The increase of the species number was highest at the treeline and on lower alpine summits CP1 and CP2. The percentage of newcomer species was highest on the southern slope, except for the subnival zone, with the highest number of newcomer species toward the western compass direction. New species preferred the southern and eastern slopes, i.e. the directions with the higher temperature and longer growing season (Erschbamer et al., 2009). Invasion of species on the south slopes, resulting from climate warming, was predicted by a number of researchers (Stanisci et al., 2005; Kazakis et al., 2006). On the eastern and

southern slopes the soil is better developed and the substrate is more stable (Nadelhoffer et al., 1996), but the northern slopes are more conservative for distribution of the vegetation. Increasing temperatures and prolonged growing season have important effects on mineralization activity (Chapin et al., 2005).

Over the 7 years 8 (5.6%) species out of the total of 143 species showed a significant expansion to new plots. The species of the treeline-alpine range predominated among them and only 4 species were alpine and subnival. The observed increase in species richness in the studied plots in the Central Caucasus mostly reflects a filling process of species that were already present in the alpine ecotone, rather than colonization of species immigrating from lower altitudes. In high mountains, local colonization or filling processes by new species appear to be more rapid than local extirpations (Grabherr et al., 2001; Walther et al., 2005). In the upper alpine and subnival zones, the scattered vegetation provides space for new plants, and thus invasion should be easier than on the lowest summit (Holzinger et al., 2006). However, potential immigrants from lower elevations would have to cross the upper alpine grassland belt, which may act as an effective barrier to invasion due to the predominantly closed, longlived grassland communities (Pauli et al., 2007).

In the Central Caucasus in 2001 and 2008, species richness was related to altitude with a trend of decreasing richness with increasing altitude. This is a common pattern in mountain regions (Korner, 2002). Species richness in the Caucasian summits was not only correlated with altitude; it was also correlated with climatic variables such as annual average daily soil temperature and GDD, with fewer species as the growing season became shorter and temperatures declined. This result supports the basis of the GLORIA protocol, where climate is considered an important factor affecting the composition and species richness of plants on summits (Pauli et al., 2004). The given data show that among the species with reduced cover, the share of grasses is less than the share of forbs. The grasses in general are species with very high competitiveness, and they are able to suppress the invasion of new species (Grabherr,

1989; Abd El- Chany et al., 2013). The monitoring carried out in tundra regions showed that the grasses appear to be able to get more benefit from the climate change than forbs (Klanderud and Totland, 2005; Walker et al., 2006). The decreasing number of some species in the permanent plots of the treeline ecotone can probably be explained by ongoing changes in the competitive balance. In the mentioned plots of the Central Greater Caucasus, the grasses experienced less change. Only one grass species reduced its plots occupancy (*Deschampsia flexuosa*). This process is particularly evident at CP1's altitude.

We used Dominance Curve test to determine dominant species on each summits (CP1, CP2, CP3, CP4) and to analyze how the annual local climate oscillations have influenced on the dominant species abundance. On the lower summits dominant species with high abundance were especially grasses. They are “key species” with high competitiveness and can inhibit newcomers by not leaving enough gaps for germination and establishment (Grabherr, 1989). When the abundance of “key species” decrease or they are removed, the result will be dramatic for plants communities. The abundance of *Carex tristis* also was high on all four summits in 2001 and 2008. It is very important dominant plant of alpine grasslands. Sedges contributed to reduction of soil erosion (they generally form dense clumps or rhizomatous mats) and some sedges are tolerated of environmental stresses (Ratliff, 1983). Although according Alatalo et al., (2014) grasses and sedges respond differently to temperature and nutrient perturbation. During monitoring years *Carex tristis* was stable against local climate oscillation. During monitoring period the abundance of other dominant species did not change. The high value of the Sørensen coefficient of summits in 2001 and 2008 years clearly show that the composition of plots did not change noticeably. If the frequency of thermophilic species increases more in the future, cold-adapted species would be declined.

Meanwhile, the decreased cover of some species, especially at CP2's altitude, cannot be explained only by competition. Change of average annual soil temperature is a normal phenomenon and plants are generally able to tolerate short-term fluctuations through

phenotypic plasticity. Gottfried et al. (2002) showed that alpine and nival species responded differently to night-time temperature during the growing season and to the snow cover duration in early summer. The changes of some species' cover in our plots may be caused by different responses of species. The other potential drivers of vegetation changes may be also seldom grazing by domestic ungulates and human activities. Such activities change the community structure, species diversity, and plant cover, but this effect must be minor in our particular study area, which lies outside the main grazing land.

The thermic vegetation indicator *S* decreased significantly in all monitoring summits. An increment of *S* value could be expected when the frequency of species with high AR value increase or the frequency of species with low AR value decline. On summits of the Central Caucasus only species with AR5 increased their frequency significantly. The same results were reported by Petriccione (2005) and Di Pietro et al. (2008). In the southwestern Alps species with AR 5 (e.g. *Festuca varia*) showed a consistence increased. In the Central Caucasus alpine grassland communities have strengthened their presence too.

GDD and June mean of daily minimum T°C correlated positively and significantly with the thermic vegetation indicator *S*, but the correlation between *S* index and GDD is more significant. *S* index is related also to June minimum T°C in all GLORIA regions with different slopes and strengths of correlation (Gottfried et al., 2002, 2012). These two factors often appear in the literature as key climatic factors for alpine vegetation (Körner, 2002, 2003, 2009, 2011; Larcher, 2012). GDD as proxy for snowfree season is important for seed ripening. June (i.e. early growing season) mean of daily minimum is important for cell growth. It is the temperature in the first part of the growing period which is the most decisive for plant growth. Both temperature indices are based on soil temperature and correlated with thermic vegetation indicator, so the changes these indices are very important for explaining mountain plant responses to changing climate. The increase of temperature and prolonged growing seasons promote the expansion of species from the lower altitudes (Erschbamer et

al., 2009). Although in our summits the average annual T°C and the length of growing season (GDD) did not show increasing trend.

The regression analysis show that the thermophilization indicator D was negative, but the significance was low. The high variation of D at the plot level could be ascribed to both ecological reasons, such as different age structure of plant population and to observer errors associated with the visual recording of species and percentage cover. At the continental scale D was highly significant, but less at summit and plot levels (Gottfried et al., 2012).

As thermophilization indicator is based on species cover changes, the positive D may result from increased cover or immigration of higher rank species. The cover increase mostly reflects filling process of species already present at the alpine belt, rather than immigration of species. The bulk of alpine plant species are slow-growing and long-lived and only very few are annual species (Nagy et al., 2002). Thus, it can be assumed that above-ground biomass which is related to cover does not change much from year to year (Pauli et al., 2003), but thermophilization of plants communities change in time intervals. According to Gottfried et al. (2012) the thermophilization indicator D was highly significantly positive on the 16 of the 17 GLORIA regions and 42 of the 60 summits and significantly correlated with June minimum T°C. D index also highly and positively correlated with winter precipitation. Due to this fact above mentioned authors explained why D was negative in Norwegians target region and positive in Scottish Cairngorms. The last one faced a dramatic reduction in winter precipitation with very much warming in June. In the Central Greater Caucasus precipitation have not reduce significantly during last decade (mean annual precipitation –  $1412.07 \pm 112.07$ ) (<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>). We suppose that the less reduction of the precipitation may be the reason why our results are in contrast to the temperate European mountains. The decrease of thermic vegetation indicator in all summits has shown that the Central Caucasus faced no warming with high variation of June minimum T°C in 2002-2008 years.

In the permanent plots of the Central Caucasus, 51 (37%) species out of the total of 143 species were Caucasus endemics (Nakhutsrishvili et al., 2006, Schatz et al., 2013). Seven of them were recorded on the highest summit. When habitats of the endemic species are damaged by human activities or by other factors, the distribution range and population sizes of the species will be reduced. During study period, Caucasus endemics were not seriously endangered. Only one species, *Alchemilla chlorosericea*, disappeared from the CP2 summit. This consideration proves the revealing test of indicator species. Among the indicator species (ISA), 5 are Caucasus endemics, and they significantly indicated the particular exposition. Their IV (Indicator value) did not change during the monitoring period.

Thus, the results of this study confirm the hypothesis that high mountains of temperate zones are one of the most sensitive areas in terms of environmental impacts of climate change, which already has influence on the diversity of vegetation and migration of species from low to high altitudes. The tendency of occupation of new plots by plants of lower altitude is obvious in the Central Greater Caucasus. The species of the treeline-alpine range predominate among them. The changes of species richness, cover, and competition at the permanent plots may be caused by filling processes and interannual climate oscillations. The observed changes in average soil T°C and thermic vegetation indicator *S* indicate that the Central Greater Caucasus has faced no climate warming on this stage of monitoring. The abundance rank of the dominant species did not change. If the difference between average soil temperatures from the lowest to the highest summits is low in the future, this would theoretically imply that, habitats of subnival plant communities would be colonized by species of alpine grasslands. However, drastic acceleration of climate warming in Europe implies that climate change would become the major treat to biodiversity in the high mountain regions and short-term analyses of ecological indicators are necessary to improve our understanding concerning species behavior in a changing climate, so these observations should be continued in the future.

გამოქვეყნებული სტატიები:

1. Winkler M., A. Lamprech, K. Steinbauer, K. Hülber, J-P. Treurillat, F. Breiner, P. Choler, S. Ertl, G.A. Giron, G. Rossi, P. Vittoz, M. Akhalkatsi, Ch. Bay, J.L. Alonso, T. Bergström, M.L. Carranza, E. Corcket, J. Dick, B. Ershbamer, R. F. Calzado, A. M. Forsaa, R. G. Gavilan, D. Chosn, **Kh. Gigauri**, D. Huber, R. Kanka, G. Kazakiz, M. Klipp, J. Kollar, T. Kudernatsch, P. Lersson, M. Mallaun, O. Michelsen, P. Moiseev, D. Moiseev, Ulf, Mollau, J.M. Mesa, U.M. di Cella, L. Nagy, M. Petey, M. Puscas, Ch. Rixen, A. Stanisci, M. Suen, A. O. Syverhuset, M. Tomaselli, P. Unterluggauer, T. Ursu, L. Villar, M. Gottfried and H. Pauli (2016) “The rich sides of mountain summits-a pan-European view on aspect preferences of alpine plants”. *Journal of Biogeography* 43: 2261-2273. (Impact factor: 3.99)
2. **Gigauri Kh.**, Akhalkatsi M., Abdaladze O., Nakhutsrishvili G. (2016) Alpine plant distribution and thermic vegetation indicator on Gloria summits in the Central Greater Caucasus. *Pakistan Journal of Botany* 48(5): 1893-1902. (Impact factor: 0.658)
3. Abdaladze O., Nakhutsrishvili G., Batsatsashvili K., **Gigauri Kh**, Jolokhava T., Mikeladze G., (2015) Sensetive alpine plant communities to the Global environmental changes (Kazbegi region, the Central Great Caucasus). *American Journal of Enviromental Protection* 4 (3-1): 93-100
4. **Gigauri Kh.**, Abdaladze O., Nakhutsrishvili G., Axalkatsi M. (2014) Vascular plant diversity and climate change in the alpine zone of the Central Greater Caucasus. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*. 4 (4): 573-579.

5. **Gigauri Kh.**, Akhalkatsi M., Abdaladze O., Nakhutsrishvili G. (2013): Monitoring of vascular plant diversity in the alpine zone of the Central Greater Caucasus in a changing climate *Turkish Journal of Botany*. 37(6): 1104-1114.(Impact factor: 1.178)
6. **Gigauri Kh.**, Akhalkatsi M., Nakhutsrishvili G., Abdaladze O. (2011): First Signs of Weak Thermophilisation on the GLORIA-EUROPE Target Region in the Central Caucasus GE-SAK). – In: G. Nakhutsrishvili (ed.): Biodiversity of Georgia. Tbilisi, Georg. Nat. Acad. of Sci. Publ., pp. 19-22 (*in Georgian with English summary*).