

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნიკა ყარალაშვილი

ტყის ბიომრავალფეროვნების შეფასება და მონიტორინგი  
გეოგრაფიულ-ინფორმაციული სისტემების გამოყენებით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი  
დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა: მანქანათმცოდნეობა, მანქანათმშენებლობა და  
საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესები  
შიფრი: 0408

თბილისი  
2018 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში  
სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი  
სატყეო-ტექნიკური დეპარტამენტი

ხელმძღვანელები: ლერი გიგინეიშვილი ტ. მ. დ. პროფესორი  
ვახტანგ აბაიშვილი ტ. მ. კ. პროფესორი

რეცენზენტები:

ჯ. ლომიძე ს.მ. მ. დ, პროფესორი -----

მ. ახოზაძე ტ.მ.დ. -----

დაცვა შედგება-----წლის”-----”,-----საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და  
მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის  
სხდომაზე, კორპუსი-----, აუდიტორია-----  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში, ხოლო  
ავტორეფერატისა-ფაკულტეტის ვებ გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი-----

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**თემის აქტუალობა.** ბიოლოგიური მრავალფეროვნების დაცვა მთელს მსოფლიოში სერიოზული პრობლემაა. როგორც ქვემოთ ვნახავთ, ცოცხალი ბუნება მთელს მსოფლიოში მნიშვნელოვან ანთროპოგენულ ზემოქმედებას განიცდის. ამ მხრივ განსაკუთრებით საყურადღებოა საქართველო. იგი ბიომრავალფეროვნების ინდექსის მიხედვით (BDI) მსოფლიოში 36-ე ადგილზეა, აქტუალური ბიომრავალფეროვნების მაჩვენებელით კი პირველი ადგილი უკავია ევროპაში. ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შემცირების საფრთხის გამო კავკასია შედის ბუნების დაცვის მსოფლიო ფონდის 200 გლობალურ ეკორეგიონში და 34 ე. წ. „ცხელ წერტილს“ მიეკუთვნება (მე-15 კავკასიის და 30-ე ირან-ანატოლიის წერტილად).

ჩვენს ქვეყანაში დამოუკიდებლობის მოპოვების დღიდან წარმოქმნილი ეკონომიკური და სხვა სიძნელების გამო არსებითად დაზიანდა ტყე, როგორც ეკოსისტემა. მისი ბიოლოგიური მრავალფეროვნების დაცვა კი ამ დრომდე ფაქტიურად მხოლოდ ქაღალდზე მიმდინარეობს. სიტუაციის მეტ-ნაკლებად გამოსწორების შემდეგ კი განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს ამ პრობლემას. თუმცა სუბიექტური და ობიექტური მიზეზების გამო ასეთი სამუშაო საქართველოში არ წარმოებს. კიდევ ერთი ხაზგასასმელი ნიუანსი თანამედროვე ტექნოლოგიების არარსებობაა: უმეტეს შემთხვევაში პირველადი, საველე მონაცემების შეგროვება მოძველებული ტექნიკური საშუალებებით წარმოებს, ხოლო თავად მონაცემების რეგისტრაცია ხელით, ქაღალდის სპეციალურ ფორმებში ხდება. შემდგომ ასეთი ინფორმაციის დამუშავებას გაცილებით მეტი დრო და ყველა სახის რესურსი სჭირდება, ვიდრე თანამედროვე, მსოფლიოში ბევრ ქვეყანაში უკვე კარგად აპრობირებულ ინფორმაციის გეოგრაფიული ინფორმაციული სისტემებით შეგროვებას.

ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შესახებ საქართველოს საზოგადოება ნაკლებად ინფორმირებულია. შესაბამისად ხშირად

სპეციალისტებიც კი არ აქცევენ სათანადო ყურადღებას ამ კომპონენტს. ნაშრომში ცალკე ქვეთავად განხილულია ბიოლოგიური მრავალფეროვნების არსი და მის მნიშვნელობა, რათა უფრო თვალნათელი გახდეს რაოდენ მნიშვნელოვანია იგი. მეორეს მხრივ იკვეთება შემდეგი საკითხი: ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შეფასება და დაცვა მეტად ტევადი პრობლემაა, ამიტომ ჩვენი აზრით პირველ ეტაპზე საკმარისი იქნება ტყის ბიომის ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შეფასების და მონიტორინგის ტექნოლოგიის შემუშავება. რადგან როგორც უკვე აღნიშნეთ, ტყის ეკოსისტემები საგანგაშოდ ცუდ მდგომარეობაში იმყოფება.

21 საუკუნეში კაცობრიობამ წარმოუდგენლად დიდი ნაბიჯი გადადგა განვითარების მხრივ. ამ პროგრესმა გვერდი ცხადია, არც გარემოსდაცვით ღონისძიებებს აუარა. მთელს მსოფლიოში უკვე ათწლეულებია წარმატებით გამოიყენება გეოგრაფიული ინფორმაციული სისტემები, როგორც სივრცითი ინფორმაციის შეგროვების, შენახვის ანალიზის და გამოსახვის საუკეთესო საშუალება. ამ მხრივაც მდგომარეობა საქართველოში არადადამკმაყოფილებელია: გამოქვეყნებული ანგარიშების მიხედვით თუ ვიმსჯელებთ, ჩვენს ქვეყანაში თითქმის არ ხდება ამ მეტად მძლავრი ინსტრუმენტის გამოყენება სატყეო სექტორში. განსაკუთრებით საყურადღებოა მობილური გეოგრაფიული ინფორმაციული სისტემების საკითხი. ამიტომ ჩვენს მიერ საფუძლიან იქნა შესწავლილი მთლიანად გეოგრაფიული ინფორმაციული სისტემების არსი და მისი სატყეო სექტორში გამოყენების პერსპექტივა.

ბიოლოგიური მრავალფეროვნება, კიდევ ერთხელ ხაზს ვუსვამთ, მეტად რთული პრობლემაა, მისი შეფასება კი სერიოზულ თეორიულ საფუძვლებს მოითხოვს. ნიკოლაშვილის მიხედვით (2014) „ბიოლოგიური მრავალფეროვნების კვლევის მეთოდოლოგია ცხადია, რომ განსხვავებულია მცენარეული საფარის და ცხოველური სამყაროს მიმართ. თუმცა ეს განსხვავება პრინციპული კი არ არის, არამედ ნიუანსებში ვლინდება. ბიოლოგიური მრავალფეროვნების კვლევის მრავალი ხერხი არსებობს.

არჩეული მეთოდოლოგია დამოკიდებულია უშუალოდ კვლევის მიზანზე. შესასწავლი საკითხები შესაძლებელია რამდენიმე დიდ ჯგუფში გაერთიანდეს. მათგან ერთ-ერთია ბიოლოგიური მრავალფეროვნების მონიტორინგი და დაცვა. ამიტომ წინამდებარე ნაშრომში განსაზღვრულია ის მეთოდოლოგია, რომლითაც მოხდება ტყის მცენარეული საფარის ბიოლოგიური მრავალფეროვნების სივრცითი ანალიზი.

**სამუშაოს მიზანი და ამოცანები.** სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს ისეთი ტექნოლოგიური პროცესის შემუშავება, რომლის მიხედვითაც მოხდება ტყის ბიომში ჩასატარებელი სამუშაოების მთლიანი ინფორმატიზაცია. დასახული მიზნის რეალიზაციისთვის გადაჭრილ იქნა შემდეგი ამოცანები

- შესწავლილ იქნა თანამედროვე ინფორმაციული ტექნოლოგიების ტექნიკური შესაძლებლობანი;
- განისაზღვრა საქართველოს სატყეო სექტორში გამოსაყენებელი გის პროგრამული უზრუნველყოფის პარამეტრები;
- განისაზღვრა მეთოდოლოგია და აპარატულ-პროგრამული უზრუნველყოფა, რომლის საშუალებითაც მოხდება ველზე მონაცემების შეგროვება;
- განისაზღვრა მეთოდიკა, რომლითაც მოხდება ტყის ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შეფასება.

**კვლევის ობიექტი.** ნაშრომის საკვლევი ობიექტია საქართველოს ტყეები.

**მეცნიერული სიახლე.** ჩვენს მიერ გაწეული შრომის შედეგად დამუშავებულია და განსაზღვრულია ტყის ბიომის მცენარეული საფარის ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შეფასების ტექნოლოგია ტყეთმომწყობის სტანდარტული პროცედურის და გეოგრაფიული ინფორმაციული სისტემების გამოყენებით. აღნიშნული ტექნოლოგია სრულად რეალიზებადია თანამედროვე ინფორმაციული ტექნოლოგიების საშუალებით.

**კვლევების პრაქტიკული მნიშვნელობა:** ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ტექნოლოგიას აქვს შემდეგი პრაქტიკული მნიშვნელობა:

- ტყის ინვენტარიზაცია განხორციელდება თანამედროვე ტექნოლოგიით: ველზე ინფორმაციის შეგროვება მოხდება მობილური გეოგრაფიული ინფორმაციული სისტემების გამოყენებით.
- შეგროვებული მონაცემების დამუშავება მოხდება მთლიანად ინფორმაციული სისტემების გამოყენებით.
- მთელი ტექნოლოგიური ციკლი განხორციელდება ისეთი ინფორმაციული პროდუქტების საშუალებით, რომლისთვისაც მინიმალური ფინანსებია საჭირო.

ყოველივე ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე შესაძლებელი იქნება ტყეების ინვენტარიზაციის და მის საფუძველზე ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შეფასების განხორციელება მოკლე ვადაში, მცირე ფინანსურ დანახარჯებისა და მინიმალური ადამიანური რესურსების გამოყენებით.

#### **ნაშრომის აპრობაცია**

ნაშრომის შინაარსი მოხსენებულ იქნა სტუდენტთა 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის სატყეო ტექნიკურ სექციაზე (საქართველო, თბილისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 10,06,2016). პუბლიკაციები.

სადოქტორო დისერტაციის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებულია 5 ნაშრომი ცნობილ რეფერირებად ჟურნალებში. ნაშრომის მიხედვით გამოქვეყნებულია ხუთი პუბლიკაცია.

**ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა.** ნაშრომი შეადგენს 137 სტანდარტულ ნაბეჭდ გვერდს, 7 ცხრილს და 8 ნახაზს. ნაშრომს თან ერთვის გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა და დანართი.

## ნაშრომის მოკლე შინაარსი

ნაშრომის პირველ თავში გადმოცემულია ბიომრავალფეროვნების მხრივ საქართველოში არსებული მდგომარეობა, ბიოლოგიური მრავალფეროვნების მნიშვნელობა, კვლევის ობიექტის საქართველოს ფლორისტური და ტყის ბიომის მრავალფეროვნება, დაცვის ღონისძიებები და საკანონმდებლო ბაზა.

ბიოლოგიური მრავალფეროვნება (ბიომრავალფეროვნება) არის დედამიწაზე არსებული ყველა ფორმის ცოცხალი ორგანიზმების (ანუ მილიონობით სახეობის მცენარეების, ცხოველების, მიკროორგანიზმების) ერთობა, რომლებიც ქმნიან ცოცხალ ბუნებას. ბიოლოგიური მრავალფეროვნების დაცვა გლობალური მასშტაბის პრობლემაა, რისი ნათელი დადასტურებაც მთელი რიგი საერთაშორისო და ადგილობრივი კანონმდებლობაა: სულ უფრო იზრდება მოთხოვნები ჩვენი საცხოვრებელი გარემოს ამ მეტად მნიშვნელოვანი კომპონენტის მიმართ.

საქართველო ამ პროცესში აქტიურად გამოუკიდებლობის მოპოვებისთანავე ჩაერთო. მაგრამ მძიმე ეკონომიკურ ვითარების და სხვა პრობლემების გამო ასეთ საკითხებზე მუშაობა მხოლოდ ფორმალურად, კანონმდებლობის შემუშავებით და საერთაშორისო კონვენციების რატიფიკაციით შემოიფარგლებოდა. გარემოსდაცვაზე გამოყოფილი ფინანსური რესურსების სიმწირისა და კვალიფიციური კადრების დეფიციტის გარდა ასევე მნიშვნელოვანი პრობლემაა თანამედროვე ტექნოლოგიების ნაკლებობა. ტყეების ბიოლოგიური მრავალფეროვნების მრავალფეროვნებისთვის ძირითად საფრთხედ განისაზღვრებოდა ხე-ტყის არალეგალური ჭრა, გადაჭარბებული ძოვება და სხვ. არ არსებობდა საფრთხეების სივრული განაწილების შესახებ მონაცემები და არ იყო განსაზღვრული რაოდენობრივი პარამეტრები. ასევე არ ხორციელდებოდა საფრთხეების მონიტორინგი. დისტანციური კვლევების მეთოდები, შეზღუდულად, ძირითადად დაცული ტერიტორიების დაგეგმარებისა და სატყეო მეურნეობის მენეჯმენტისთვის გამოიყენებოდა.

ბიომრავალფეროვნების კონვენციისადმი მეოთხე ეროვნული მოხსენებაში ვკითხულობთ: „დღეისთვის ხელმისაწვდომი არ არის სარწმუნო ინფორმაცია ტყეების ჭრასა და ტყით დაფარული ტერიტორიების შესახებ, არ ჩატარებულა ტყეების ინვენტარიზაცია, არ ხორციელდება მონიტორინგი, დღემდე არ ჩატარებულა ზუსტი გამოკვლევა (მაგალითად სატელიტური იმიჯებისა და GIS ტექნოლოგიის გამოყენებით), რომელიც მოგვცემდა ეროვნულ დონეზე ტყით დაფარული ფართობების და ან ტყეების მდგომარეობის ცვლილების მეტ-ნაკლებად ზუსტ სურათს“ (გვ. 13)

თანამედროვე ეტაპზე ტყის რესურსების დაცვისა და ტყის მდგრადი მართვის პრაქტიკის დანერგვისთვის მკაფიო სატყეო პოლიტიკის ჩამოყალიბებთან ერთად ტყეების ბიომრავალფეროვნების დაცვისთვის მნიშვნელოვანია ბიოლოგიური მრავალფეროვნების მონიტორინგის სისტემის დანერგვა, განვითარება და სრულყოფა. რაც თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენების გარეშე არაეფექტურია. სპეციალისტების აზრით, ბიოლოგიური მრავალფეროვნების დაცვისთვის საკვანძო

1. მონაცემთა შეგროვების, შენახვის და ანალიზის თანამედროვე, ეფექტური მექანიზმების არარსებობა;
2. ახალი, ფართო მასშტაბის კვლევები, რომლის მიხედვითაც შეფასდებოდა ქვეყნის ტყით დაფარულობის და ტყის ცვლილების ზუსტი სურათი
3. არ განხორციელებულა ქვეყნის მასშტაბით ტყეების პათოგენური მდგომარეობის შეფასება.
4. არ ჩატარებულა ტყეების ინვენტარიზაცია, რის გამოც შეუძლებელია მონიტორინგის პროცესის განხორციელება.

მოკლედ რომ შევაჯამოთ ეროვნული ლიტერატურული წყაროები, ტყის ბიოლოგიური მრავალფეროვნების დაცვისთვის მნიშვნელოვანია ეფექტური, ნაკლები ფინანსური დანახარჯების საჭირო თანამედროვე ტექნოლოგიის გამოყენება.



ნაშრომის მეორე თავში გადმოცემულია გეოინფორმაციული სისტემების ანალიზი, განსაზღვრულია საქართველოს სატყეო სექტორში დასაწერად გის-ის პარამეტრები, დასაბუთებულია ღია გის -ს გამოყენების შესაძლებლობა, ტყის ინვენტარიზაციის არსებული მეთოდოლოგიის ნაკლოვანებები და განსაზღვრულია მეთოდი, რომლითაც უნდა მოხდეს ინფორმაციის შეგროვება ველზე, ასევე - განსაზღვრულია ტყის ბიომრავალფეროვნების შეფასების ინდექსები.

გეოგრაფიული ინფორმაციული სისტემა (გეოინფორმაციული სისტემა, გის) არის ინფორმაციული სისტემა, რომელიც განკუთვნილია სივრცით (გეოგრაფიული კოორდინატებთან მიბმულ) ინფორმაციასთან სამუშაოდ. გამოყენების სფეროს მრავალფეროვნების გამო გის პროგრამულ უზრუნველყოფას გააჩნია გარკვეული ნიაუნსები. ამიტომ ხდება გის-ების კლასიფიკაცია დანიშნულების, პრობლემურ-თემატური ორიენტაციის, გამოყენების სფეროს, გეოგრაფიული მონაცემების ორგანიზაციის ხერხის და სხვ. გეოინფორმაციული სისტემები ასევე იყოფა რამდენიმე ჯგუფად. ერთი მათგანი შეიძლება აღვნიშნოთ, როგორც სტანდარტული გის-ები. (უფრო ფართოდ ცნობილი როგორც „სამაგიდო“ (Desktop) ასეთი პროგრამული უზრუნველყოფა არის ერთგვარი უნივერსალური ინსტრუმენტი, რომელიც არა რაიმე კონკრეტული დარგისთვისაა განკუთვნილი, არამედ ასე ვთქვათ -უნივერსალური გამოყენებისთვისა. მეორე დიდი ჯგუფი სპეციალური გის-ებია, რომლებიც კონკრეტული საქმიანობისთვისაა გამიზნული (მაგ. სატყეო სექტორისთვის). ასეთი პროგრამული უზრუნველყოფა უმთავრესად რაიმე კონკრეტული ამოცანის გადაჭრისთვის გამოიყენება. გლობალური მასშტაბით გეოინფორმაციული სისტემების უმეტესება სწორედ სპეციალური გის-ებია.

ასე მრავალფეროვნებიდან საქართველოს სატყეო სექტორში დანერგილ გეოგრაფიულ ინფორმაციულ სისტემას ჩვენი აზრით, უნდა გააჩნდეს შემდეგი ძირითადი ფუნქციური შესაძლებლობანი:

- რასტრულ გამოსახულებებთან (სკანირებული რუკები, აერო და კოსმოსური სურათები) მუშაობის შესაძლებლობა;
- გეოდეზიურ მონაცემებთან შესაძლებლობა;
- ატრიბუტული მონაცემების აქტუალიზაციის შესაძლებლობა;
- დაინტერესებული პირების მოთხოვნის (ცენტრალური და ადგილობრივი მმართველობის ორგანოები, გარემოსდაცვითი ორგანიზაციები, დაინტერესებული მოქალაქეები და სხვ.) შესაბამისად შეკითხვების ფორმირების და მონაცემთა ამორჩევის შესაძლებლობა;
- გეგმიურ-კარტოგრაფიული მასალების, სხვა საჭირო რუკების შექმნა და სათანადო რაოდენობით ტირაჟირება რეგიონულ სამსახურებში არსებული ტექნიკური საშუალებების გამოყენებით;
- გის სხვა პროგრამულ უზრუნველყოფასთან მონაცემების გაცვლის შესაძლებლობა
- სხვა.

გის პროგრამული უზრუნველყოფის შერჩევისთვის მნიშვნელოვანია საბაზო ვერსიის ფასი და თავად პროგრამული უზრუნველყოფის მოდიფიკაციის შესაძლებლობა კონკრეტულად საქართველოს სატყეო სექტორის მოთხოვნილებების მიხედვით.

გეოგრაფიული ინფორმაციული სისტემები ასევე შეიძლება დაიყოს დახურულ და ღია პროგრამულ უზრუნველყოფად. ღია პროგრამული უზრუნველყოფა თანამედროვე ინფორმატიკული სამყაროს მნიშვნელოვანი და ძალიან საინტერესო შემადგენელია. განმარტების მიხედვით იგი ისეთი პროგრამული პროდუქტია, რომლის პროგრამულ კოდზე საავტორო უფლებების მესაკუთრე აძლევს საშუალებას მომხმარებელს შეიტანოს ცვლილებები საწყის კოდში საკუთარი მიზნებიდან გამომდინარე. ანუ ღია პროგრამული პროდუქტი ღია კოდით არის ისეთი პროგრამული უზრუნველყოფა, რომლის საწყისი კოდიც ვრცელდება თავისუფლად, ყოველგვარი შეზღუდვების გარეშე და მომხმარებელს აქვს მისი მოდიფიკაცია/გაუმჯობესების შესაძლებლობა. საგანგებოდ უნდა გავუსვათ

ხაზი, რომ კოდის ღიად, თავისუფლად გავრცელება ყოველთვის არ ნიშნავს უფასოდ გავრცელებას. თუმცა ღია პროგრამული უზრუნველყოფის უმეტესობისთვის ლიცენზიის მისაღებად ფულის გადახდა არაა საჭირო.

ზემოთჩამოთვლილი უპირატესობების გარდა ღია გის პროგრამულ უზრუნველყოფას ცხადია ნაკლოვანებებიც გააჩნია. მათ შორის აუცილებლად აღსანიშნავია. არასაკმარისი ფუნქციონალურობა - ხშირ შემთხვევაში გამოწვეული კოდზე მომუშავე სპეციალისტების არასაკმარისი რაოდენობით. ეს პრობლემა იმდენად მნიშვნელოვანია, რომ ღია გის ის ფართოდ გავრცელების ერთ-ერთ ძირითად შემაფერხებენ ფაქტორადაც კი მიიჩნევა. ღია გის-ებს როგორც წესი ასევე უჭირთ დიდი მოცულობის მონაცემთა ბაზებთან მუშაობა, გააჩნიათ შეზღუდული ფუნქციური შესაძლებლობები და გამოსასვლელი მონაცემები, კარტოგრაფიული მასალა არ გამოირჩევა მაღალი ხარისხით. ხშირ შემთხვევაში არასაკმარისად ინტუიციური ინტერფეისის გამო გართულებულია ღია გის-ების ათვისება.

„ქიუ გის“ (Qgis) მუშაობს მრავალ ვექტორულ და რასტრულ ფორმატებთან, ხოლო ახალი ფორმატების რეალიზაცია შესაძლებელია მოდულების საშუალებით. გის-ს ფუნქციური შესაძლებლობების ჩამონათვალი კი შემდეგია:

- „ქიუ გის“-ის (Qgis) საშუალებით შესაძლებელია სხვადასხვა ფორმატების და პროექციის როგორც ვექტორული, ისე რასტრული მონაცემების ზედდება მათი წინასწარი გარდაქმნის გარეშე. (ძირითად ფორმატებში იგულისხმება „შეიპ ფაილები“ (shape file), „პოსტ გრაის“ (Post gis), სივრცითი მონაცემების ცხრილები, „გეოტიფ გრიდ“ (geotiff grid), „ჯპეგ“ (jpeg), „პნგ“ (PNG) და სხვა მრავალი);
- გრაფიკული ინტერფეისის საშუალებით იოლად ხდება სივრცითი მონაცემების მანიპულაცია და რუკების შექმნა. გრაფიკული ინტერფეისის დახმარებით ხორციელდება შემდეგი ოპერაციები: პროექციის სწრაფი ცვლილება, ობიექტების ამორჩევა, რედაქტირება,

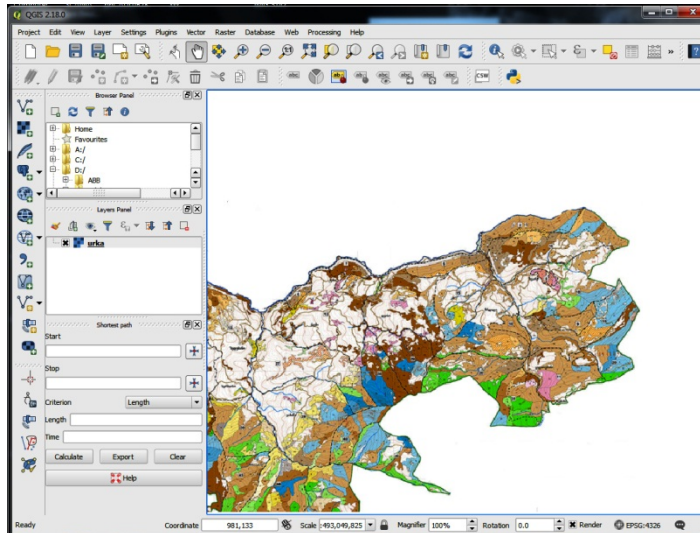
დათვალიერება, ატრიბუტული მონაცემების ძებნა, წარწერების გაკეთება, საკოორდინატო ბადის, მასშტაბის და ჩრდილოეთის აღნიშვნელი ნიშნის დატანა, სხვა;

- „ქიუ გის“-ით (Qgis) ხდება ვექტორული მონაცემების შექმნა და დამუშავება, ასევე მათი სხვადასხვა ფორმატში ექსპორტი. აღნიშნული პროგრამული უზრუნველყოფა უპრობლემოდ მუშაობს გპს-ის მონაცემებთან. თავისუფლად ხდება მონაცემების იმპორტ-ექსპორტი „ჯიპიქს“ (GPX) ფორმატში. ასევე არის გპს მიმღებიდან მონაცემების პირდაპირ გადმოწერის საშუალებაც.

განაკუთრებით საყურადღებოა მონაცემების ანალიზი, რადგან როგორც ცნობილია „ანალიზი გის-ის გულია“ (დემერსი 1999) „ქიუ გის“-თვის (Qgis) ხელმისაწვდომია პროგრამირების ენა „პითონზე“ (python) დაწერილი ანალიზის, ამორჩევის, გეოპროცესინგის, გეომეტრიულ და მონაცემთა ბაზის მართვის ინსტრუმენტების გამოყენება. გრასს გის ინსტრუმენტების ინტეგრაციის შემთხვევაში ანალიზის მოდულების რაოდენობა 400-ს აჭარბებს.

„ქიუ გის“ (Qgis) მოსახერხებელია გის გამოსასვლელი მონაცემების ინტერნეტში განთავსებისთვის. ამისთვის იგი „მაპ სერვერს“ (Map Servers)-ის იყენებს. როგორც უკვე აღვნიშნეთ გის-ის შესაძლებლობების გაზრდა შესაძლებელია პროგრამირების ენების „სი პლუს პლუს“ (C++) და „პითონის“ (Python) გამოყენებით.

ჩვენი შეფასებით „ქიუ გის“ (Qgis) ფუნქციური შესაძლებლობა სრულიად საკმარისია ტყის ბიოლოგიური მრავალფეროვნების ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტის, რელიეფის ანალიზის განხორციელებისთვის.



ნახ. 1. „ქვანტუმ გის“ ით რეალიზებული ტყის კორომთა რუკა

### ტყის ინვენტარიზაციის მეთოდის განსაზღვრა

სახმელეთო ტაქსაციასა და კამერალურად დემიფრირებულ აეროფოტოსურათების გამოყენებაზე დაფუძნებული ტყის ინვენტარიზაცია, საქართველოს ტყეების რეალური მდგომარეობის გათვალისწინებით ნაკლებად პროდუქტიულია, რადგან მისთვის მნიშვნელოვანი ადამიანური და ფინანსური რესურსია საჭირო.

მრავალი ქვეყნის პრაქტიკა აჩვენებს, რომ ტყის რესურსების აღრიცხვის სისტემის სამომავლო გაუმჯობესება უნდა ეფუძნებოდეს ტყის ფონდის ცვლილების კანონზომიერების აღმოჩენასა და გამოყენებას. ამ მიზნის მისაღწევად ასევე მნიშვნელოვანია უახლესი ტექნიკური და გამოთვლითი ტექნიკის საშუალებები. ყოველივე ზემოთაღნიშნულის წარმატებით რეალიზაციისთვის უპირატესად საჭიროა ტყის ობიექტური ტაქსაციის მეთოდების შემუშავება. ტყეთმომწობის განხორციელებისთვის საბაზო მონაცემების მისაღებად, სავსე აღრიცხვის სისტემის გაუმჯობესებას უზრუნველყოფს მათემატიკურ-სტატისტიკური მეთოდები. ეს უკანასკნელი სულ უფრო პოპულარული ხდება მთელი მსოფლიოს მასშტაბით.

ამორჩევითი ტაქსაციის თეორიულ საფუძველს წარმოადგენს ალბათობის თეორიის და მათემატიკური სტატისტიკის კანონები. ტყის

რესურსების ამორჩევითი მეთოდით შესწავლისას ცალკეული გაზომვები განიხილება როგორც შემთხვევითი სიდიდეები. ეს უკანასკნელნი კი თავის მნიშვნელობებს იღებენ გასაზომი (შესაფასებელი) ობიექტების შემთხვევითი შერჩევის შესაბამისად. ეს მნიშვნელობები არ ემთხვევა შესაბამის მათემატიკურად გამოსალოდნელ შედეგებს (შემთხვევითი შედეგების საშუალო მნიშვნელობებს). უფრო მეტიც, მათ გარკვეული უზუსტობანი ახასიათებთ. აქამდე მიღებული გამოცდილებით, შემთხვევითი სიდიდეების დიდი რაოდენობის შემთხვევაში ასეთი ცდომილებები ურთიერთკომპენსირდება. ასე რომ, საშუალო არითმეტიკული სიდიდე უახლოვდება მათემატიკურად მოსალოდნელ შედეგს და მიახლოების ალბათობა მაღალია.

ტყის შესახებ ინფორმაციის შეგროვება საჭიროებს მუდმივად ხდებოდეს ტექნიკის და ტექნოლოგიის სრულყოფა. ცნობილი ფაქტია, რომ საიმედო, აქტუალური ინფორმაციისა და სწორედ განხორციელებული სატყეო-სატაქსაციო სამუშაოები უზრუნველყოფენ ტყის რესურსების რაციონალურად გამოყენებას. მაგრამ XXI საუკუნეში ამ მოთხოვნებს კიდევ ორიოდ დამატებითი კომპონენტი დაემატა. პირველი ესაა მონაცემების შეზღუდულ დროში შეგროვება (გლობალური დათბობისა თუ სხვა ბუნებრივ-ტექნოგენური პროცესების გამო ზოგჯერ საჭირო ხდება სავსე მონაცემების ხელახალი შეგროვება ან არსებული აქტუალიზაცია სწორი და დროული გადაწყვეტილების მისაღებად). კიდევ ერთი კომპონენტია სავსე ინფორმაციის ციფრულ ფორმატში ანუ ისეთი ხერხით შეგროვება, რომლითაც უკვე ეგმ-ს (კომპიუტერი) სპეციალური პროგრამული უზრუნველყოფის საშუალებით მოხდება მისი დამუშავება. ველზე სატყეო-საინვენტარიზაციო მონაცემების ტრადიციული მეთოდებით შეგროვებას<sup>1</sup>, მომავალში მათ კამერალურ პირობებში კომპიუტერის მეხსიერებაში

---

<sup>1</sup> მაგ. დღეს საქართველოში, ველზე მუშაობისას ტაქსატორები ტყის აღრიცხვის წესის დანართის მიხედვით დადგენილ სპეციალურ ფორმებს ავსებენ ქაღალდზე ხელით ავსებენ, ხოლო შემდეგ ხდება მათი კამერალური დამუშავება.

გადატანით სჭირდება დამატებითი (ფინანსური, ადამიანური და სხვ.) რესურსები. ამიტომ თანამედროვე მსოფლიოში ფართოდ ვრცელდება ველზე ციფრული მონაცემთა ბაზების შექმნის ტექნოლოგია. სატყეო სექტორში ასეთი ტექნოლოგიის კომპონენტებია გეოგრაფიული ინფორმაციული სისტემები, დისტანციური ზონდირების საშუალებები, მობილური ლაზერული საზომი ხელსაწყოები და სხვა ელექტრონულ ხელსაწყოები.

ტყის ინვენტარიზაციის სამუშაოების განხორციელებისთვის სხვადასხვა წყაროები გამოიყენება, მაგრამ მათგან უმთავრესი და უმნიშვნელოვანესი საველე მონაცემებია. ასეთი მონაცემების შეგროვების სიზუსტე ინვენტარიზაციის მიზანზეა დამოკიდებული, მაგრამ ასევე მნიშვნელოვანწილად განპირობებულია ტექნიკური შესაძლებლობებით. თანამედროვე სატყეო სექტორში დისტანციური ზონდირების (აერო- და კოსმოსურათები) გარდა მყარად მოიკიდა ფეხი გლობალური პოზიციონირების სისტემებმა (გკს - GPS), ლაზერულ სხივებზე, ულტრაბგერაზე და სხვა პრინციპებზე დაფუძნებულმა ტექნოლოგიებმა. ყველა ზემოთჩამოთვლილი განუყოფლადაა გადაჯაჭვული ინფორმატიკის (კომპიუტერული ტექნოლოგიების) განვითარებასთან. ტყის მდგომარეობის შეფასების, მონიტორინგის და პროგნოზირების ახლა უკვე შეუცვლელი ნაწილია გეოგრაფიული ინფორმაციული სისტემები (გის).

ჩეხეთში სამთავრობო სატყეო ეკოსისტემების კვლევის ინსტიტუტმა შეიმუშავა სტატისტიკური ამორჩევის მეთოდი, რომელის მიხედვითაც საინვენტარიზაციო წერტილების რაოდენობა უზრუნველყოფს ტყის რესურსების მოცულობის  $\approx 5\%$  ის სიზუსტით შეფასებისთვის. წერტილების საერთო რაოდენობა განისაზღვრება „ფილდ მაპ“ (Field Map) ტექნოლოგიის გამოყენებით, უკვე არსებული ინფორმაციის საფუძველზე.

„ფაილდ მაპ“ (Field Map) გის პროგრამული უზრუნველყოფა 4 კომპონენტისგან შედგება:

1. Field Map Project Manager (FMPM) გამოიყენება მონაცემთა ბაზის სტრუქტურის (ანუ გის პროექტის) შექმნისთვის მომხმარებლის საჭიროებისამებრ..
2. Field Map Data Collector (FMDC) - საველე სამუშაოებისთვის განკუთვნილი ეს კომპონენტი ეფუძნება FMPM-ს საშუალებით შექმნილ მონაცემთა ბაზებს. FMDC მუშაობს უშუალოდ საველე საზომ ხელსაწყოებთან.
3. Field Map Stem analyst (FMSA)-ს ორი ძირითადი დანიშნულება აქვს: ერთი ესაა მცენარის ღეროს ფორმის გლობალური მოდელის პარამეტრების მიღება და მეორე - სანიმუშო ფართობებზე სორტიმენტის განსაზღვა.

Field Map Inventory Analyst (FMIA) გამოიყენება ტყეების სტატისტიკური ინვენტარიზაციის გამოთვლების გასახორციელებლად. ამ პროგრამირებადი კომპონენტის საშუალებით ხდება ველზე შეგროვილი მონაცემების დამუშავება. ასევე - წინასწარ გასაზღვრული სქემის მიხედვით ანგარიშების ავტომატური ფორმირება. მომხმარებელს აქვს საშუალება მიღებულ შედეგებს მიამატოს სასურველი ინფორმაცია.

ბიოლოგიური მრავალფეროვნების რიცხოვრივი შეფასებისთვის მეცნიერებმა ბიომრავალფეროვნების ინდექსები შეიმუშავეს. ამ დროისთვის ცნობილია 40-ზე მეტი ინდექსი, ყოველი მათგანი განსხვავდება ნიუანსებით, მაგრამ თითოეული მათგანი უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

- თანასაზოგადოების ბიომრავალფეროვნება მით უფრო მაღალია, რაც უფრო მეტი სახეობაა მასში;
- თანასაზოგადოების ბიომრავალფეროვნება მით უფრო მაღალია, რაც უფრო მეტია მისი თანაბრობა (evenness).

ინდექსების მთავარი განმასხვავებელი ნიშნები სწორედ სახეობრივი და თანაბარი მრავალფეროვნების მიმართ მიდგომაში ვლინდება.



როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შეფასების ინდექსები რამდენიმე ათეულია. მათგან, ჩვენი აზრით, ბიომრავალფეროვნების შეფასებისთვის საკმირისია შენიონის ინდექსი.

შენიონის ინდექსი გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

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

სადაც  $p_i$  სიდიდე არის  $i$  სახეობის ინდივიდების წილი. შერჩევისას  $p_i$ -ს ჭეშმარიტი სიდიდე უცნობია, მაგრამ ხდება მისი შეფასება როგორც  $n_i/N$ .

ბიომრავალფეროვნების შეფასებისას შენიონის ინდექსით ხდება გარკვეული შეცდომები, რაც დაკავშირებულია იმ ფაქტთან, რომ შეუძლებელია შერჩევაში რეალური თანასაზოგადოების ყველა სახეობის გათვალისწინება.

კიდევ ერთი ინდექსი, რომელსაც იყენებენ ბიომრავალფეროვნების შეფასებისთვის იწოდება ბრიულენის ინდექსად. ამ ინდექსს მაშინ იყენებენ, როდესაც არც თუ ისე დეტალური კვლევის შედეგებია შეფასების საწყის მონაცემებად. ბრიულენის ინდექსი (The Brillouin index) გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$HB = \frac{\ln N! - \sum \ln n_i!}{N} \quad (2)$$

ეს ინდექსი, როგორც წესი იძლევა შენიონის ინდექსით გამოთვლილი შედეგების მსგავს შედეგებს და იშვიათად აჭარბებს 4,5. მაგრამ საჭიროა აღვნიშნოთ, რომ ერთნაირი მოცულობის ინფორმაციის დამუშავებისას შედეგები მიიღება შენიონის ინდექსზე ნაკლები. ეს აიხსნება იმით, რომ მას არ არის განუსაზღვრელობები, რომელიც დამახასიათებელია შენიონისთვის.

თანაბრობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$E = \frac{HB}{HB_{max}} \quad (3)$$

$$HB_{max} = \frac{1}{N} \ln \frac{N!}{\left\{ \left[ \frac{N}{S} \right]^{S-r} \left( \left[ \frac{N}{S} \right] + 1 \right)^r \right\}^r} \quad (4)$$

სადაც  $[N/S]$  ეს  $N/S$  ურთიერთობის მთლიანი ნაწილი, ხოლო  $r=N-S$   
 $[N/S]$

ამ ინდექსს იშვიათად იყენებენ, რადგან მისი საშუალებით რთულია გამოთვლების გაკეთება, და თუ საწყისი ინფორმაცია მცირერიცხოვანია - იწვევს შეცდომით შედეგებს. ამ ინდექსის გამოყენება რეკომენდირებულია, როდესაც ხდება კოლექციის შეფასება ან ცნობილია მთელი თანასაზოგადოების სრული შემადგენლობა.

ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შეფასებაზე გავლენას ახდენს ტერიტორიის სიდიდეც, ამიტომ ბერუჩაშვილის მიხედვით (ბერუჩაშვილი 2000) მცირე და დიდი ტერიტორიების შედარებას ხშირად აზრი არა აქვს. იმისთვის რომ სხვადასხვა ქვეყნის ტერიტორიის ბიოლოგიური მრავალფეროვნება შეადარონ ერთმანეთს სპეციალური ფორმულა გამოიყენება:

$$S = c * A^z \quad (5)$$

სადაც S არის ქვეყნის მიყვანილი ფართობია, A - ქვეყნის რეალური ფართობი, c და z კი სპეციალური კოეფიციენტები. მსოფლიო ბანკის მეთოდის მიხედვით c ტოლია 1/10 000, ხოლო z - 0,33-ის. ქვეყნის ბიოლოგიური მრავალფეროვნების დასადგენად ასევე იყენებენ სპეციალურ ინდექსს, რომელსაც აქტუალურ ბიომრავალფეროვნების ინდექსს უწოდებენ. მისი საშუალებით ხდება ცალკეული ქვეყნების ბიომრავალფეროვნების ერთმანეთთან შედარება.

ტყის ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შეფასებისთვის მნიშვნელოვანი კომპონენტებია რელიეფის პერფორირების და დანაწევრების ხარისხი. ასეთი ინფორმაციის მიღება შეიძლება კარტოგრაფიული მასალის დამუშავებით როგორც ანალოგური (ქალაქის) რუკებით, ისე მისი ელექტრონული ვერსიებით.

ასეთი შეფასების განხორციელებისთვის პირველადი ინფორმაციის შეგროვება გულისხმობს ტყის ერთგვაროვანი ნაწილების დაჯამებას. ერთგვაროვან ნაწილში იგულისხმება მსგავსება დომინანტი სახეობის, ჯგუფის, ასაკის და ბონიტეტის კლასის მიხედვით, ასევე უნდა

განისაზღვროს უმცირესი წრის ფართობი, რომელშიც „ჩაჯდება“ შესაფასებელი ტერიტორია.

ტყის საფარის მცენარეული საფარის მრავალფეროვნებას -  $\lambda$  აქვს ფუნქციური დამოკიდებულება ზემოთნახსენები პარამეტრების მიხედვით დადგენილ ტყის უბნების რაოდენობაზე. მრავალფეროვნების სიდიდე იცვლება 0-დან  $\lambda_{max}$ -მდე და ზრდადია  $n$  უბნების რაოდენობის მიხედვით.

$$\frac{d\lambda}{dn} \tag{6}$$

ასევე შეიძლება შემდეგი გამოსახულების გამოყენება რომელიც აჩვენებს, რომ  $n$  უბნების რაოდენობის ზრდის შემთხვევაში მცირდება  $\lambda$  მრავალფეროვნების მაჩვენებელი.

$$\frac{d^2\lambda}{dn^2} < 0 \tag{7}$$

აქედან კი პირდაპირ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ  $\frac{d\lambda}{dn}$  მაჩვენებელს

აქვს მაქსიმალური მნიშვნელობა  $\frac{d\lambda}{dn} = c$ , როცა  $\lambda=0$  და უდრის ნულს,

როცა  $\lambda=\lambda_{max}$ .  $\frac{d\lambda}{dn}$  და  $\lambda$  მაჩვენებლების ურთიერთკავშირი შეიძლება აღიწეროს ამოზნექილი, ჩაზნექილი ან სწორი გრაფიკით. პირველი ორი სახის ფუნქციას აქვს ბევრი ამოხსნა, რაც ამნელებს მათ ცალსახა ინტერპრეტაციას, ამიტომ საჭიროა შემდეგი გამოსახულების გამოყენება:

$$\frac{d\lambda}{dn} = C - K.\lambda \tag{8}$$

სადაც  $\lambda$  - არის ტყის საფარის მრავალფეროვნების მაჩვენებელი

$n$  - ფართობების ჯგუფების რაოდენობა

$C$  და  $K$  კონსტანტები.

ბოლო გამოსახულებას თუ პირველი ფორმულისთვის გამოვიყენებ,

მივიღებთ რომ  $C - K \cdot \lambda \geq 0$  ან  $\frac{C}{K} \geq \lambda$ . თუ ჩავთვლით, რომ  $\frac{C}{K} = \lambda_{\max}$  მაშინ მესამე ფორმულა შესაძლოა შემდეგნაირად წარმოვადგინოთ:

$$\frac{d\lambda}{dn} = K \cdot (\lambda_{\max} - \lambda) \quad (9)$$

ან

$$\lambda = \lambda_{\max} \cdot (1 - e^{-k(n-1)}) + \lambda_0 \cdot e^{-k \cdot (n-1)} \quad (10)$$

როცა  $\lambda_0=0$  და ტყის მცენარეული საფარის ინდექსია

$$v = \frac{\lambda}{\lambda_{\max}}$$

ბოლო გამოსახულება მიიღებს შემდეგ მნიშვნელობას:

$$v = (1 - e^{-K \cdot (n-1)}) \quad (11)$$

ხშირად ტყის ჯგუფების ფართობებს სხვადასხვა ფართობი აქვთ. ამიტომ ერთი და იგივე რაოდენობის ჯგუფებს განსხვავებული ფართობი უჭირავთ. ამიტომ ტყის მცენარეული საფარის ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შეფასებისას საჭიროა ჯგუფების ფართობების საშუალოშეწონილი ან პროპორციული მაჩვენებლების გამოყენება:

$$P_i = \frac{a_i}{A} \quad (12)$$

სადაც:

$P_i$  - არის  $i$  ფართობების ჯგუფის საშუალოშეწონილი ფართობი

$a_i$   $i$  ფართობების ჯგუფი

$A$  - ტყით დაფარული საერთო ტერიტორია ( $A = \sum a_i$ )

შეწონილი ტყის ფართობების ჯგუფი ამ შემთხვევაში შეიძლება

განისაზღვროს როგორც  $n_w = \frac{1}{q}$  სადაც  $q$  არის სიმპსონის ინდექსი,

რომელიც უდრის ტყეკაფების შეწონილი ფართობების საშუალოს. მისი განსაზღვრა შეიძლება ფორმულით:

$$q = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P_i \quad (13)$$

სადაც  $x_i$  არის  $i$  ტყეკაფების საშუალო წონა,  $\sum_{i=1}^n x_i = 1$   
 თუ გავუთანებრებთ  $x_i = P_i$ , მივიღებთ:

$$q = \sum_{i=1}^n x_i P_i^2 \quad (14)$$

აღსანიშნავია, რომ ტყეკაფების ფართობების შეწონილი რიცხვი არ ასახავს ტყის მცენარეულ საფარის მრავალფეროვნებაზე ტერიტორიის სიდიდის გავლენას. მაგ. თუ ჩავთვლით, რომ გვაქვს ორი ობიექტი ერთნაირი  $n_w$  პარამეტრით, მაგრამ განსხვავებული ფართობებით, უფრო მცირე ტერიტორიის მრავალფეროვნება იქნება უფრო მაღალი. ეს მომენტი ყოველთვის უნდა იყოს მხედველობაში მიღებული. ასეთ შემთხვევაში გამოსადეგია  $K$  კონსტანტა

$$K = 1/A \quad (15)$$

როგორც ფორმულიდან ჩანს, რაც უფრო მეტია შესაფასებელი ტერიტორიის ფართობი  $A$ , მით უფრო ნაკლებია  $K$  და ნაკლებია  $v$ ,  $n_w$  უცვლელი მნიშვნელობის პირობებში.

$v$  ბიომრავალფეროვნების ინდექსს უპირატესობა აქვს ტყის მცენარეული საფარის ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შეფასებისთვის სიმპსონის და შენონის ინდექსებთან შედარებით. ეს უპირატესობა იმაში მდგომარეობს რომ ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შეფასებისას, სხვა ფორმულებისგან განსხვავებით, დამოკიდებულია მის ფართობზე.

შეწონილი ფართობების მე-6 გამოსახულებაში ჩასმის შემდეგ ეს უკანასკნელი მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$v = (1 - e^{-k(n_v - 1)}) \quad (16)$$

სადაც  $n_w$  არის კორომების ტიპების რიცხვის შეწონილი საშუალო, ხოლო  $K$  - კონსტანტა.

მოკლედ რომ შევაჯამოთ ზემოთთქმული ტყის ფართობების ჯგუფის შეწონილი საშუალოს ცოდნის შემთხვევაში შესაბამისი ცხრილის არსებობის პირობებში შეიძლება განისაზღვროს ტყის მცენარეული საფარის ბიოლოგიური მრავალფეროვნება. ეს ინდექსი არ იძლევა ინფორმაციას თავად ტყის სტრუქტურის შესახებ. ტყის მასივის ფორმა და დანაწევრება შესაძლოა არსებით გავლენას ახდენდეს ბიოლოგიურ მრავალფეროვნებაზე. ამიტომ ბიომრავალფეროვნების შეფასებისას ასევე მნიშვნელოვანი ტყის მცენარეულის საფარის კომპაქტურობის ინდექსის გამოყენება.

ტყის მცენარეული საფარის კომპაქტურობის ინდექსი  $\gamma$  გამოიხატება შემდეგი ფორმულით:

$$\gamma = A/C_a \quad (17)$$

სადაც:  $\gamma$  არის ტყის მცენარეული საფარის კომპაქტურობის ინდექსი;

$C_a$  - უმცირესი წრის ფართობი, რომელშიც შეიძლება ჩაეტოს შესაფასებელი ტერიტორია.

ისეთი ტყის ტერიტორიის შეფასებისთვის, რომელიც შედგება რამდენიმე „ფრაგმენტირებული“ უბნისგან, მცენარეული საფარის კომპაქტურობის ინდექსი გამოითვლება ფორმულით:

$$\gamma = \gamma_0 \cdot \frac{\sum_{i=1}^m \gamma_i \cdot x_i}{m} \quad (18)$$

სადაც  $m$  არის ფრაგმენტების რაოდენობა,

$$x_i \text{ i ფრაგმენტის ფართობის წილი, } x_i = A_i / A$$

$\gamma_0$  და  $\gamma_i$  კომპაქტურობის ინდექსი.

$$\text{თავის მხრივ } \gamma_0 = A / C_0 \text{ ხოლო } \gamma_i = A_i / C_i$$

აქ  $A_i$  - არის ფართობის  $i$  ფრაგმენტი

$C_0$  - უმცირესი წრის ფართობი, რომელშიც ჩაეტევა შესაფასებელი ტყის ფართობი

ხოლო  $C_i$  უმცირესი წრის ფართობი, რომელშიც ჩაეტევა  $i$  ფრაგმენტი.

კომპაქტურობის ინდექსი იცვლება 0-დან 1-მდე (1 ნიშნავს რომ შესაფასებელი ტყის უბანი ერთი უწყვეტი ტერიტორიაა, რომელსაც თითქმის წრის ფორმა აქვს).

ტყის მცენარეულ საფარში სახეობრივი შერევის რაოდენობრივი შეფასებისთვის შესაძლებელია შერევის ინდექსის გამოყენება. მას გააჩნია 5 გრადაცია იმის მიხედვით თუ კორომის გვერდით რომელი ტიპია განთავსებული, უფრო დეტალურად შეფასების მეთოდიკა მოცემულია ნახაზზე. აღნიშნული მეთოდიკით ხდება უკლებლივ ყველა კორომის შეფასება საკვლევ ტერიტორიაზე, ხოლო შემდეგ განისაზღვრება საშუალო მაჩვენებელი.

შერევის ინდექსის განსაზღვრისთვის გამოიყენება ღია გის „ქიუ გის“ ამისთვის პროგრამულ უზრუნველყოფაში იქმნება უნდა შეიქმნას ორი იდენტური ფენა-ცხრილი პოლიგონური ფენით, რომელზეც დატანილი იქნება კორომები. შემდეგ შეკითხვების ფუნქციის „გადაკვეთა“ (Intersect) გამოყენებით. მიღებული შედეგები გეოგრაფიული ინფორმაციული სისტემიდან გადატანილ იქნება ცხრილის პროცესორში, სადაც განისაზღვრება შერევის გრადაცია და შერევის საშუალო მნიშვნელობა.

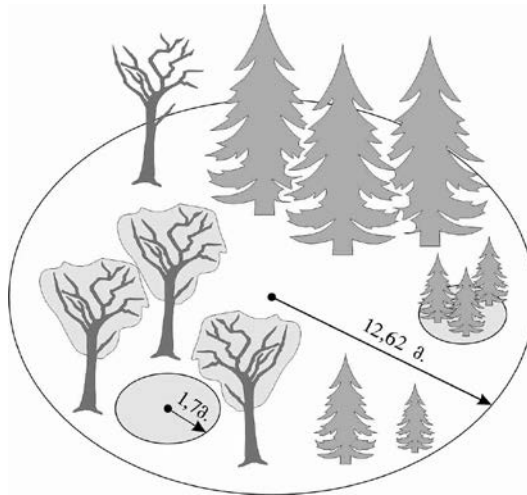
ჩვენს მიერ შერჩეული ტექნოლოგიის მიხედვით ქვეყნის ტერიტორია იყოფა 7×7 კმ-ის ფართობის კვადრატებად. თითოეული კვადრატის ფარგლებში, შემთხვევითი შერჩევის პრინციპით შეირჩევა წერტილი. შერჩევის განხორციელებისთვის გამოიყენება „ფილდ მაპ“ (Field Map)

პროგრამული უზრუნველყოფა, რომელიც განკუთვნილია უწყვეტი სტატისტიკური ინვენტარიზაციისთვის შედეგების ყოველწლიური წარმოჩინებით. საველე სამუშაოები უნდა დაიგეგმოს ისე, რომ ყოველ წელიწადს მოხდეს სანიმუშო წერტილების 20%-ის კვლევა, მიღებული მონაცემების ოპერატიული დამუშავებით. ამასთან ყველა წერტილი თანაბრად უნდა იყოს განაწილებული მთელი ქვეყნის ტერიტორიაზე.

ასეთი თითოეული ამორჩეული წერტილისთვის განისაზღვრება 450×450 მ-ის ფართობის კვადრატი. ამ კვადრატებისთვის საჭიროა აქტუალური აეროფოტოსურათების მოძიება (0,25 მ-ის გარჩევადობის ფერადი ორთორექტიფიცირებული აეროფოტო, გადაღებული კვლევის ჩატარების პერიოდიდან არაუდრეს 3 წლისა). აეროფოტოზე ოპერატორი საერთო ტერიტორიას ყოფს 10×10 მ-ის კვადრატებად. ხოლო თითოეული კვადრატისთვის განსაზღვრავს მიწათსარგებლობის კატეგორიას და საფარის ტიპის (ისევე „ფილდ მაპ“ (Field Map) ტექნოლოგიის გამოყენებით). ზოგიერთი სხვა მახასიათებლის მისაღებად (მაგ. ლანდშაფტური მახასიათებლები) მიმართავენ კომერციული გის „არკჯის“ (ArcGis). მაგრამ მისი საშუალებით განსაზღვრული პარამეტრების სტატისტიკური დამუშავება ხორციელდება „ფილდ მაპ“ (Field Map) საშუალებით.

ყველა სანიმუშო წერტილი, რომელიც აეროფოტოსურათების მიხედვით ხვდება ტყის ტერიტორიაზე ან მასთან ახლოს, ან ისეთი წერტილებისთვის, რომელთათვისაც არსებობს საფუძველი ვარაუდისა, რომ აქ ტყე უნდა იყოს - განისაზღვრება ნატურაში. იმ შემთხვევაში თუ 12,62 მ.-ის რადიუსის ტყის მინიმუმ 10%-ით დაფარული ტერიტორიაა, იგი განისაზღვრება როგორც სანიმუშო ფართობი, ხდება მისი საზღვრების ნატურაში გადატანა და საველე შესწავლა.





ნახ. 2. სანიმუშო ფართობის პრინციპული სქემა.

12.62 მ-ის რადიუსის (ანუ 500 მ<sup>2</sup>) სანიმუშო ფართობი საჭიროების შემთხვევაში შეიძლება დაიყოს პოლიგონური ფორმის სეგმენტებად. სეგმენტის მინიმალური ფართობი მთელი წერტილის 10%-ზე ნაკლები არ უნდა იყოს. სანიმუშო ფართობზე აღიწერება, იზომება და კარტოგრაფირდება 12 სმ-ზე მეტი დიამეტრის უკლებლივ ყველა ხე.

სანიმუშო ფართობების თითოეულ სეგმენტში 3 მ-ის რადიუსში კი აღიწერება 7 სმ-ზე მეტი დიამეტრის ყველა ხე-მცენარე. გის „ფილდ მაპ“ (Field Map) პროგრამულ უზრუნველყოფაში ჩადებული ალგორითმით შეირჩევა 5 ხე, რომლისთვისაც ხორციელდება ღეროს დაზიანების განსაზღვრა. ანალოგიურად ხორციელდება ღეროს პროფილის შეფასება. თითოეულ სეგმენტში 2 მ<sup>2</sup>-ს ფართობზე აღიწერება განახლებადი ტყე. საერთო ჯამში სანიმუშო ფართობებისთვის განსაზღვრებაა დაახლოებით 110 ატრიბუტი (იარუსიანობა, გამხმარი ნაწილები, ხე-ბუჩქები, ნიადაგის, ბიომრავალფეროვნების მახასიათებლები და სხვ.

სამუშაოს მთელ მოცულობას ახორციელებს 2 კაციანი ბრიგადა, ზამთრის პირობებში ისინი ამუშავენ სურათებს, ხოლო ზაფხულის განმავლობაში აწარმოებენ საველე სამუშაოებს. ტყის ინვენტარიზაციის სხვა მეთოდებთან შედარებით წარმოუდგენლად მცირე ადამიანური რესურსების მუშაობის ეფექტურობა განპირობებულია გის „ფილდ მაპ“ (Field Map) და თანამედროვე ხელსაწყოების გამოყენებით.

განსახორციელებელი საველე სამუშაოებია:

1. საველე სამუშაოების დაწყებამდე კამერალურად მონაცემების დამუშავება.
2. სანიმუშო ნაკვეთზე მისვლა და მისი ცენტრის გასაზღვრა (გპს ნავიგატორის და „ფილდ მაპ“ (Field Map) კომპლექსში შემავალი სხვა ხელსაწყოების საშუალებით).
3. ნაკვეთის ცენტრის ფიქსაცია, ნაკვეთის წინასწარგანსაზღვრული კრიტერიუმების მიხედვით ვარგისიანობის განსაზღვრა.
4. საინვენტარიზაციო ნაკვეთის აღწერა.
5. დენდრომეტრიული და სხვა პარამეტრების განსაზღვრა.
6. მონაცემების და მონაცემთა ბაზის სისრულის შემოწმება/შეფასება
7. აღწერილი სანიმუშო ნაკვეთის გრაფიკული გამოსახულების შექმნა.

ოდნავ უფრო ფართოდ რომ შევხებით საველე სამუშაოებს: თითოეული სანიმუშო ფართობი ან მისი ყველა სეგმენტი შეაქვთ მონაცემთა ბაზაში, ასეთი მონაცემებია ოროგრაფიული: (ექსპოზიცია, დახრილობა) მახასიათებლები, მცენარეული მახასიათებლები, ნიადაგის ეროზიის ნიშნები და სხვა მრავალი. ასევე აუცილებელია მცენარეულობაზე მავნე ზეგავლენის მქონე ფაქტორების აღწერა.

თითოეული მონაკვეთისთვის ხდება ყველა 12 სმ-ზე მეტი დიამეტრის ხეების აღწერა (ზეხმელის) ჩათვლით. განისაზღვრება საერთო ფართობის რა ნაწილი უჭირავს ცალკეულ სახეობას, მცენარეული საფარით ტერიტორიის საერთო პროექციული დაფარულობა და სხვ. ნიადაგის პარამეტრების მისაღებად კეთდება შესაბამისი ჭრილი. სეგმენტისთვის განისაზღვრება არაერთგვაროვნება. ხოლო მთლიანად სანიმუშო ფართობისთვის ვარგისიანობა ველური ფაუნის წარმომადგენელთა ბინადრობისთვის. ასევე მათი მოქმედების კვალი (არსებობის შემთხვევაში). ასევე სავალდებულოა გამხმარი მცენარეული საფარის სრულად შეფასება.

მიღებული მონაცემების დამუშავებისთვის გამოიყენება მოდული „ფილდ მაპ“ (Field Map Inventory Analyst,) რომელიც ველზე შეგროვებულ

მონაცემებს ამუშავებს პირდაპირ, ყოველგვარი შუალედური საფეხურების გარეშე. მონაცემების დამუშავება გულისხმობს როგორც პირველადი, ისე მეორეული და სტატისტიკური მონაცემების დამუშავებას. შედეგების წარმოდგენა ხდება ავტომატურად, წინასწარგანსაზღვრული (სტანდარტიზირებული) ფორმების, ცხრილების და დიაგრამების სახით.

საბოლოო ჯამში ველზე მობილური გის კომპნენტით მოხდება შემდეგი მონაცემების შეგროვება:

ველზე შესაგროვებელი მონაცემების ნუსხა:

- სანიმუშო ფართობის/სეგმენტის მახასიათებლები:
- ნაკვეთის ნომერი,
- ხე-მცენარეების ხარისხობრივი მახასიათებლები:
- მცენარეულობის არაერთგვაროვნება:
- დენრომეტრიული მახასიათებლები:
- ტყის განახლებადობა:
- ხემცენარეების დაზიანება
- მცენარეული საფარის მახასიათებლები:
- კუნძების და სხვა ნარჩენები მახასიათებლები
- ფაუნის საცხოვრებელი პირობები:
- ნაკვეთის შესახებ ცნობები:

ველზე ინფორმაციის შეგროვების და შემოწმების შემდეგ უნდა მოხდეს მათი კონვერტაცია ცხრილურ მონაცემებში. ამ მონაცემებით საფუძველზე შეიქმნება მონაცემთა ბანკი, რომელიც გახდება მონიტორინგის საფუძველი. მონაცემთა ბანკში აკუმულირებული მონაცემების დამუშავება განხორციელდება გის „ქიუ გის“ ის საშუალებით, ხოლო მონაცემების განმეორებით შეგროვების შემთხვევაში უკვე არსებული მონაცემების შედარებით განხორციელდება მონიტორინგი.

## დასკვნები

ჩვენს მიერ შესრულებული სამუშაოს მიხედვით დადგინდა, რომ

1. ტყის ბიომის ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შეფასება შესაძლებელია გეოგრაფიული ინფორმაციული სისტემების გამოყენებით, ისე რომ თანამედროვე, ციფრული ტექნოლოგიები გამოყენებული იქნება ყველა ეტაპზე - ველზე მონაცემების შეგროვებიდან ანალიზამდე. კვლევამ გვაჩვენა, რომ რაც უფრო მეტია, ფართობის ერთეულზე პარამეტრები, მით უფრო მაღალია ბიომრავალფეროვნება.
2. ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შეფასება უნდა მოხდეს ტყეთმონაწილის დოკუმენტებზე დაყრდნობით. ამისთვის საკმარისია ტყის ამორჩევით სტატისტიკური მეთოდით შეგროვილი ინფორმაცია. ასეთი სახის ინვენტარიზაცია კი სატყეო სექტორისთვის განკუთვნილი გეოინფორმაციული სისტემითაა შესაძლებელი. ელექტრონულად შეგროვებული ატრიბუტული ინფორმაციიდან იოლად ხდება ველზე შეგროვებული მასალების გადატანა სხვა პროგრამულ უზრუნველყოფაში, რომლითაც მოხდება უკვე ტყის ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შეფასება. პროცესის ტექნოლოგიური უპირატესობანი შემდეგია:  
ატრიბუტული ინფორმაციის შეგროვება ხდება პირდაპირ ციფრულ ფორმატში, რის გამოც შემდგომში აღარ არის საჭირო მისი ტრანსფორმაცია; მომხმარებელს აქვს საშუალება უშუალოდ ველზე მოახდინოს შეგროვებული მონაცემების გადამოწმება;  
სამუშაოს მთელ მოცულობას ახორციელებს 2 კაციანი ბრიგადა, ზამთრის პირობებში ისინი ამუშავებენ სურათებს, ხოლო ზაფხულის განმავლობაში აწარმოებენ საველე სამუშაოებს. ტყის ინვენტარიზაციის სხვა მეთოდებთან შედარებით

წარმოუდგენლად მცირე ადამიანური რესურსების მუშაობის ეფექტურობა განპირობებულია გის „ფილდ მაპ“ (Field Map) და თანამედროვე ხელსაწყოების გამოყენებით.

3. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ტყის ბიოლოგიურ მრავალფეროვნებაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს რელიეფი. რელიეფის ანალიზისთვის, მისი ტექნიკური შესაძლებლობებიდან გამომდინარე სრულიად გამოსაყენებელია ღია გეოგრაფიული ინფორმაციული სისტემა „ქუანტიმ გის“. მისი კოდირება „დიაოზა“ იძლევა საშუალებას, რომ საჭიროების შემთხვევაში მოხდეს კოდის მოდიფიკაცია უშუალოდ ეროვნული მოთხოვნების შესაბამისად. ქუანტიმ გის არის უფასო რესურსი, ამიტომ მისი დანერგვისთვის არ იქნება საჭირო დიდი ფინანსური რესურსები.
4. აღნიშნული ტექნოლოგიით მიღებული შედეგები მისაღებია, როგორც ბიოლოგიური მრავალფეროვნების ეროვნული მონიტორინგისთვის, ისე საერთაშორისო კონვენციებით და კანონმდებლობით აღებული ვალდებულებების შესასრულებლად.

## დისერტაციის მასალების მიხედვით გამოქვეყნებული შრომები

1. ყარაღაშვილი ნ., გიგინეიშვილი ლ. ტყის ინვენტარიზაციის ამორჩევით-სტატისტიკური მეთოდი და მისი გის ტექნოლოგიით რეალიზაციის მაგალითი „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“, სტუ 2017 წ. N2 (39) გვ.
2. ყარაღაშვილი ნ., გიგინეიშვილი ლ. ღია გეოინფორმაციული სისტემები და მისი გამოყენების პერსპექტივები საქართველოს სატყეო სექტორში. „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“, სტუ 2017, N2 (39) გვ.
3. ყარაღაშვილი ნ. გეოინფორმაციული სისტემა საქართველოს სატყეო სექტორისთვის, „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“, სტუ 2017, N2 (39)
4. ყარაღაშვილი ნ. გიგინეიშვილი ლ. ბიომრავალფეროვნების დაცვა და მის ეკონომიკური ასპექტები „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“ საერთაშორისო საინჟინრო აკადემია, საქართველოს საინჟინრო აკადემია N2, 2017 გვ
5. ყარაღაშვილი ნ. გიგინეიშვილი ლ. საქართველოში არსებული ტყის ინვენტარიზაციის პრაქტიკა და მისი ზოგიერთი ნაკლოვანება „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“, სტუ 2018, N2 (42) გვ

## Abstract

The living environment is the most important component of our planet. Forest, as its constituent, is under a serious threat worldwide. Currently, 40-70 % of broadleaf and mixed forests, as well as 85-90% of Mediterranean subtropical forests have been cut down. It is believed that every minute 20 hectares of forest is disappearing. The pace has significantly increased within last 5 centuries; This is exactly when 2/3 of foliage has been destroyed. Foliage destruction irreversibly damages biodiversity.

The problem is especially pressing in Georgia. Effective steps cannot be made due to difficult socio-economic conditions, scarcity of funds allocated for environmental protection and other objective factors. Protection of forest biome biodiversity is further hindered by absence of efficient monitoring system and shortage of modern technology.

The following thesis aims to partially resolve this problem. We believe that in the nearest future Georgia will still not have sufficient financial resources to separately conduct forest stocktaking, as well as to research and monitor biodiversity. This is why the suggested technology intends to use geographic information systems while conducting selective-statistical stocktaking and then utilize gathered data for spatial analysis of forests' foliage biodiversity using determined formulas; as well as to preserve the information in a geographic information data base and to conduct monitoring using the recently obtained data after some period.

Literature review, the first chapter of the thesis discusses current situation in Georgia, importance and essence of biodiversity and existing data on global and national biodiversity. It also highlights floral and forest biome diversity of Georgia, as well as steps and legislative foundations of biodiversity protection.

The second chapter - Results and Their Assessment - determines requirements that we believe geographic information system, intended to be installed in a Georgian forest sector, should meet. It also provides a general analysis of geographic information systems based on which we come to the conclusion that the relief analysis can be conducted by functional capabilities of open GIS 'QG'. This chapter also touches upon flaws of the current practice of forest stocktaking and provides arguments in support of the advantage of selective-statistical method. Moreover, it determines how to conduct forest stocktaking using modern measuring tools.

A separate sub-chapter is dedicated to biodiversity assessment indexes. The final sub-chapter 'Primary Results' provides a detailed information on how to gather and analyze field data: A territory of a country is divided by 7x7 km. large

squares. A certain point will be chosen using random selection principle within each square. Field Map software is used for selection which is meant for continuous statistical stocktaking by annual representation of results. Field work should be planned in a way that 20% of model points were analyzed each year by operative processing of the obtained data. Moreover, each point should be identically distributed throughout the country territory.

For each of the selected point a square of 450x450 m. area will be determined. One must look for actual aerophotos for these square (0,25 m. discernibility orthorectified aerophoto taken no earlier than 3 years from conducting a research).

On an aerophoto, the operator divides overall territory by 10x10 meter squares. He/she determines the land use category and foliage type of each square. Each model point, that covers forest territory, a nearby area or similar points where forest could potentially be located – are represented in real terms. In case at least 10% of forest of 12.62 radius is a covered territory, it is determined as a model area, its borders are transferred in real terms and studied on field. After obtaining and checking information on the field, it must be converted into a table data. According to these findings, a data bank will be created. It will become a foundation for monitoring. QG will be used to process findings accumulated in the data bank. If findings are data obtaining takes place again, monitoring will compare existing findings.

The thesis is enclosed with an attachment that includes additional information about forests of Georgia. It also includes a list of used literature.