

საქართველოს წყალთა მენეჯმენტის ინსტიტუტი



ირინე იორდანიშვილი, კონსტანტინე იორდანიშვილი

**საქართველოს მთის წყალსაცავები
და მათი ზემოქმედება გარემოზე**

თბილისი 2010

უაკ 620.9-627.81

მონოგრაფიაში ავტორთა მრავალწლიანი კვლევების მასალების საფუძველზე მოყვანილია ძირითადი მონაცემები და პრობლემების კომპლექსი, რომლებიც დაკავშირებულია საქართველოს წყალსაცავებთან. განხილულია მთიანი რეგიონების პირობებში წყალსაცავების შექმნის, სახალხო მეურნეობაში მათი გამოყენებისა და გარემოზე ზემოქმედების საკითხები. მოყვანილია საქართველოს წყალსაცავების კლასიფიკაცია, შეფასებულია წყლის ხარისხი და ბიოლოგიური პროდუქტიულობა, დახასიათებულია მათი ეკოლოგიური და სოციალური მნიშვნელობა, ბუნების დაცვის საშუალებები.

ნაშრომი განკუთვნილია მეცნიერებისა და საინჟინრო-ტექნიკური დარგის მუშაკებისათვის, ჰიდროტექნიკოსებისა და ბუნების დაცვის სპეციალისტებისათვის.

ავტორების მადლობას მოახსენებენ მეცნიერ-თანამშრომელს **ელენე ხოსროშილს** და **იაგორ მახარაძეს** მონოგრაფიის შედგენაში შეტანილი წვლილისათვის. აგრეთვე ავტორები განსაკუთრებულ მადლობას უხდინან აკადემიკოს **ცოტნე მირცხულავას** იმ შრომისათვის, რაც მან გასწია ხელნაწერის გაცნობისათვის და რიგი სასარგებლო შენიშვნებისათვის.

ნაშრომი განხილული და მოწონებულია გამოსაცემად წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოზე.

მონოგრაფიის დამუშავება და გამოცემა განხორციელდა საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროს შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით (სამეცნიერო გრანტები №NSF/ST07/5-205 და №NSF/ST09/-622-7-105).

რედაქტორისგან

მკითხველისათვის შემოთავაზებული მონოგრაფია საქართველოს წყალსაცავების ფუნქციონირებისა და გარემოზე მათი ზემოქმედების კვლევის შესახებ წარმოადგენს ავტორთა მრავალწლიანი კვლევების შედეგს.

მოსახლეობის, მრეწველობის, სოფლის მეურნეობის, ენერგეტიკის წყლით უზრუნველყოფა სულ უფრო მწვავე პრობლემა ხდება, რომლის გადაწყვეტაზე დამოკიდებულია ქვეყნის ეკონომიკური განვითარება.

წყალშემტობორავი ნაგებობების მეშვეობით დარეგულირებულ მდინარეთა ჩამონადენით წყალუზრუნველყოფის პრობლემის გადაწყვეტამ გამოიწვია ტექნოგენური საქმიანობის ნეგატიური შედეგების განვითარება. პრობლემის სიმწვავე და მისი შედეგები არა თუ კლებულობს, არამედ სულ უფრო აქტუალურ ხასიათს იძენს, ქვეყნის წყლის რესურსების ათვისებასთან და დედამიწაზე კლიმატის გლობალურ დათბობასთან დაკავშირებით. ამიტომ ასეთი შინაარსის მონოგრაფიის გამოჩენა უცილობლად მისასალმებელია.

მონოგრაფიაში გაანალიზებულია საქართველოს წყალსაცავიანი სისტემების თანამედროვე მდგომარეობა, ჩატარებულია გარემოსთან მათი ურთიერთქმედების შეფასება მთიანი რეგიონების ბუნებრივი პირობების სპეციფიკის გათვალისწინებით.

დასაბუთებულია ქვეყნის მთიანი წყალსაცავების გარემოზე ნეგატიური ზემოქმედების შედეგების პროგნოზირების მეთოდოლოგია, შემოთავაზებულია ღონისძიებების კომპლექსი მათ ასაცილებლად და შესასუსტებლად.

წიგნი სასარგებლოა ყველასათვის, ვინც დაკავებულია წყალსაცავების კვლევით, დაგეგმვით, მშენებლობით და ექსპლუატაციით, ასევე მათთვის, ვისაც აინტერესებს გარემოში მიმდინარე გარდაქმნები წყალსაცავების შექმნისას.

წიგნის მიზანია – უკანასკნელ წლებში ავტორთა კვლევების ძირითადი შედეგების გადმოცემა საქართველოში შექმნილი წყალსაცავების შესწავლის სფეროში და ჩვენება იმისა, თუ როგორ შეიძლება იქნეს გამოყენებული ეს გამოკვლევები გარემოს ეკოლოგიური სიტუაციის შესანარჩუნებლად მთიან რეგიონებში.

წიგნში მოყვანილი ძირითადი დებულებები ეფუძნება მთის

წყალსაცავებზე არსებული პრობლემების ნატურულ და თეორიულ კვლევებს.

მთის წყალსაცავების შიდა წყალსატევური და სანაპირო პროცესების ძირითად კანონზომიერებებზე და მათი გარემოსთან ურთიერთქმედების პრინციპებზე დაყრდნობით შემოთავაზებულია ეკოლოგიური მდგომარეობის პროგნოზირება ტექნიკური ობიექტების – მთის წყალსაცავების შექმნისას და ექსპლუატაციისას.

ამ პროგნოზების საფუძველზე შემოთავაზებულია გარემოსა და თვით წყალსაცავიანი კომპლექსის დაცვის მეთოდები მავნე ზემოქმედების შესარბილებლად.

მთის წყალსაცავი რთული ობიექტია, რომელიც საშუალებას გვაძლევს გადავანაწილოთ მდინარეთა ჩამონადენი დროში ტერიტორიაზე, რომელიც გამოირჩევა მდინარეთა ჩამონადენის მნიშვნელოვანი სეზონური და მრავალწლიანი უთანაბრობით, როდესაც გლობალური დათბობის გამო გახშირებული წყალმოვარდნების პერიოდში გაედინება მდინარეთა წლიური ჩამონადენის 90%-მდე.

წყალსაცავი, აკმაყოფილებს რა რესურსებისადმი სახალხო მეურნეობის სხვადასხვაგვარ მოთხოვნებს, ამავე დროს იწვევს რიგ გვერდით, არასასურველ ცვლილებებს ბუნებაში: ხდება მიწების დატბორვა, ნაპირების ჩამონგრევა, ირღვევა სანიტარულ-ჰიგიენური პირობები, წარმოიქმნება მოსახლეობის სხვა ადგილებში გადაყვანის აუცილებლობა და სხვ.

არავის აეჭვებს, რომ უკანასკნელი 50 წლის განმავლობაში წყალსაცავების მასობრივი შექმნა გარემოს გარდაქმნის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორი გახდა. შეინიშნება წყალსაცავების ექსპლუატაციისას უარყოფითი მოვლენები. ერთ ან მეორე მხარეს გადახრა საკმაოდ მავნეა ქვეყნისათვის. ეს არის წინამდებარე მონოგრაფიის გამოცემის მიზანშეწონილობის ერთ-ერთი მთავარი მიზეზი. მეორე მიზეზი – უკვე დადგა დრო წყალსაცავების შესახებ მეცნიერების განვითარების შეჯამებისა. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია წყალსაცავების გამოკვლევისათვის, როცა ყოველწლიურად დედამიწაზე ექსპლუატაციაში შედის 400-ზე მეტი ახალი წყალსაცავი, რომელთა მოცულობა უკვე აღარბებს 7 000 კმ³-ს. წყალსაცავების საერთო რაოდენობა 30 000-ზე მეტია. პერსპექტივაში ნავარაუდევია დედამიწის მდინარეების 2/3-ის დარეგულირება.

გასაკვირი არაა, რომ მეცნიერებამ წყალსაცავების შესახებ მკვლევართა ფართო წრის ყურადღება მიიპყრო სხვადასხვა ქვეყნებში. უკანასკნელ წლებში წყალსაცავების კვლევების შესახებ გამოქვეყნებულია 30 000-ზე მეტი ნაშრომი, მაგრამ მთის წყალსაცავების შექმნისა და გამოყენების საკითხებისადმი მიძღვნილი ნაშრომები –

საკმაოდ მცირეა. კვლევების ამ სფეროში პიონერად გვევლინება საქართველოს გამოჩენილი მეცნიერი – ნინო ვარაზაშვილი, რომლის მოწაფეები და მიმდევრები არიან ამ მონოგრაფიის ავტორები.

ყოველივე ამან განაპირობა წინამდებარე მონოგრაფიის მომზადება და გამოცემა.

ავტორების იმედს იტოვებენ, რომ მონოგრაფიაში განხილულია პრობლემები ხელს შეუწყობს მთის წყალსაცავების დაპროექტების, ხანგრძლივი ექსპლუატაციისა და ამ მეტად მნიშვნელოვანი ობიექტებისა და გარემოს ურთიერთქმედების შეფასებას. ასეთი სახის წიგნის გამოცემა პირველია და, რა თქმა უნდა, იგი არაა თავისუფალი ნაკლოვანებებისაგან.

განსახილველი პრობლემის სირთულემ განაპირობა მისი სრულყოფის აუცილებლობა, რაც გათვალისწინებული იქნება ავტორთა შემდგომ კვლევებში.

რედაქტორი:

ცოტნე მირცხულავა

საქართველოს ეროვნული მეცნიერებათა
აკადემიისა და რუსეთის ფედერაციის
სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა
აკადემიის აკადემიკოსი

თავი 1. მთის წყალსაცავები – საქართველოს ხმელეთის ახალი ობიექტები

1.1. წყალსაცავების საერთო ფონდის ფორმირება დღემდე

გასული საუკუნის 70-იანი წლებისათვის *იუნესკოს* მონაცემებით წყალსაცავების მარეგულირებელი შესაძლებლობების ხარჯზე დედამიწის მდინარეთა ჩამონადენის რესურსები 15%-ით გაიზარდა, ამასთან, უფრო მაღალი მაჩვენებლები შეინიშნება მთისწინა და მთიან რეგიონებში. ასე მაგალითად, აფრიკაში ჩამონადენის მომატებამ შეადგინა 27%, სამხრეთ ამერიკაში – 26%, რუსეთში – 51%-მდე (1980 წ.).

რიგი წყალსაცავები, შექმნილი როგორც ჩვენს წელთაღრიცხვამდე, ისე მას შემდეგ, დღემდე ფუნქციონირებს (ცხრ. 1.1.1) [Воропаев Г.В., 1986].

პირველად წყალსაცავები შეიქმნა ძველ ეგვიპტეში 3 ათას წელზე მეტი ხნის წინ ჩვ.წ.აღ.-მდე. ჯერ კიდევ ფარაონ მენესის დროს ნილოსის გადასადგებად დედაქალაქ მემფისიდან, აიგო კომისის კაშხალი, სიგრძით 450 და სიმაღლით 15 მეტრი.

2800-2500 წლით ადრე ჩვ.წ.აღ.-მდე ქაიროს სამხრეთით, ვადი-გრავიზე ააგეს კაშხალი სად-ელ-კაფარი, სიმაღლით 12 მ და სიგრძით 108 მ. 2300 წლის წინ ჩვ.წ.აღ.-მდე ქაიროდან 80 კმ-ის დაშორებით შეიქმნა 1 კმ³-ზე მეტი ტევადობის მერისის წყალსაცავი, რომელსაც ჰეროდოტემ მსოფლიოს ერთ-ერთი საოცრება უწოდა.

მოგვიანებით შეიქმნა წყალსაცავები ახლო აღმოსავლეთში. პირველი იყო ნიმროდის კაშხალი, შექმნილი ჩვ.წ.აღ.-მდე 2500 წლის წინ, მდ. ტიგროსზე, ქ. სამარას ზევით, 1300 მ³/წმ საშუალო წლიური ხარჯით. წყალსაცავი ექსპლუატაციაში იყო ჩვ.წ.აღ.-მდე VII საუკუნემდე.

ჩვ.წ.აღ.-მდე 1300 წლის წინ მდ. ორონტზე (დღევანდელი სირიის ტერიტორია) ააგეს ხომსის კაშხალი, სიგრძით 2 კმ.

მიწების მოსარწყავად იემენის ტერიტორიაზე 750 წელს ჩვ.წ.აღ.-მდე ააგეს მარიბის კაშხალი, სიგრძით 600 მ, რომელიც ექსპლუატაციაში იყო ჩვ.წ.აღ.-ის 575 წლამდე. კაშხლის ნარჩენები დღევანდლამდე შემონახული.

ჩვ.წ.აღ.-მდე VII-VI საუკუნეებში შეიქმნა ოთხი წყალსაცავი ქ. ბაღდადის აღმოსავლეთით.

ჩვ.წ.ად.-მდე 150-300 წლების პერიოდში ინტენსიურად მიმდინარეობდა კაშხლების მშენებლობა აღმოსავლეთ და სამხრეთ აზიაში: კაიერუმატიკეს კაშხალი იაპონიაში, მუკოვის – ჩინეთში, სუდარსანის – ინდოეთში.

ჩვ.წ.ად.-ის დასაწყისში, 494 წელს, ცვილონზე აშენდა რამდენიმე მიწის კაშხლით შექმნილი წყალსატევი, ე.წ. „დიდი დამბა“.

ჩვ.წ.ად.-ის პირველ საუკუნეებში წყალსაცავების მშენებლობა სწრაფი ტემპებით მიმდინარეობდა: პირველ საუკუნეებში ნაბათის სამეფოში (ისრაელის ტერიტორია) 14 მ სიმაღლის ორი კაშხლის მშენებლობით შეიქმნა წყალსაცავი მდ. სიგზე. კაშხლები დღემდე შემორჩენილია.

ჩვ.წ.ად.-ის I და II საუკუნეებში შეიქმნა წყალსაცავები: კორნალდო და პროზერპინი (იბერია), ორუკაია და კანდარახისარი (ანატოლია), შუსტერი (დასავლეთ ირანი).

ჩვ.წ.ად.-ის IV საუკუნემდე ირანში აშენდა 9 ირიგაციული წყალსაცავი მდ. ჯარახზე, მდ. კორზე (კამყერდი), ბენდე-მიჟანი და გერგერი მდ. კარუნზე, რომლებიც დღესაც არსებობს.

წყალსაცავების შექმნის ინტენსიფიკაცია შეინიშნებოდა ჩვ.წ.ად.-ის V საუკუნიდან. წყალსაცავების მნიშვნელოვანი ნაწილი ჯერ კიდევ შუა აღმოსავლეთში დაინგრა ომების პერიოდში და ჩვენამდე ვერ მოაღწია. ჩვ.წ.ად.-ის I ათასწლეულში შეიქმნა წყალსაცავები: ბენდე-ემირის, ისპაჰანსა და შირაზს შორის, რომელიც დღემდე ექსპლუატაციაშია, სავების, მდ. ფავრენახზე, სიმაღლით 40 მ და სიგრძით 120 მ, ექსპლუატაციაში იყო 100 წლის განმავლობაში, კარამის წყალსაცავი (ცენტრალური ირანი) – დღემდე ექსპლუატაციაშია.

დროთა განმავლობაში იზრდებოდა ჰიდროკვანძების მშენებლობის ინტენსიურობა. იაპონიაში ჩვ.წ.ად.-ის 522-1600 წლებში შეიქმნა 30 წყალსაცავი 15 მ-ზე მეტი სიმაღლის კაშხლებით, ხოლო შემდგომი 200 წლის მანძილზე – 540 ჰიდროკვანძი წყალსაცავებით, რომლებიც დღესაც გამოიყენება.

ჩინეთში პირველ ასწლეულებში მიმდინარეობდა მშენებლობა მდინარეების ხუნხესა და იანძის შუამდინარეთის რაიონში. მდ. ხუნხეზე 100 კმ სიგრძის დამბით შეიქმნა ხუნიზეხუს წყალსაცავი და რიგი მცირე წყალსაცავები.

ევროპაში წყალსაცავების მშენებლობის განვითარება მოგვიანებით, XIV–XVI საუკუნეებში დაიწყო. მაგალითად, წყალსაცავები ესპანეთში – აღმანასი და რელსი; ჩეხეთში და სლოვაკიაში – დგორჟიშტე, იორდანი, ხარუხიციკი, სტანკოვსკი, როჟიბერკი და სხვ. (რომელთა სარკის საერთო ფართობია 1800 კვ. კმ), ექსპლუატაციაშია დღემდე. პოლონეთში დღემდე ექსპლუატაციაშია 10 წყალსაცავი, რომლებიც XIV-XVI საუკუნეებში აშენდა.

გერმანიაში პირველი წყალსაცავების მშენებლობა XV საუკუნეს მიეკუთვნება,

წყალსაცავების დიდი რაოდენობა იქნა აშენებული მექსიკაში აცტეკების, ინკების და მაიას ტომების მიერ. მაგალითად, ნეცაუალკოიოტლის დამბამ, სიგრძით 16 კმ, შუაზე გაყო ტესკოკოს ტბა და წარმოქმნა მეხიკოს წყალსაცავი. ეს ნაგებობები არ შემორჩა, რადგან ბევრი მათგანი განადგურდა ესპანელი კონკისტადორების მიერ XV საუკუნეში.

წყალსაცავების მშენებლობის ინტენსიფიკაციის ახალი პიკი განეკუთვნება VII საუკუნეს. ლათინურ ამერიკაში აშენდა წყალსაცავები ჟურურია (მოცულობა – 220 მლნ.მ³, წყლის სარკის ფართობი – 96 კმ²), რომელიც დღემდე ექსპლუატაციაშია, და ჩალვირი, 3 მლნ.მ³ მოცულობით.

XX საუკუნის მეორე ნახევარი ხასიათდება წყალსაცავების შექმნის დინამიური ტემპებით მთელ მსოფლიოში. მათი რიცხვი 1950 წლიდან გაორმაგდა, ხოლო მათი ჯამური მოცულობა 8-ჯერ გაიზარდა. ამავე პერიოდში შეიქმნა წყალსაცავი 50 000 მლნ. მ³-ზე მეტი მოცულობით (ცხრ. 1.1.2).

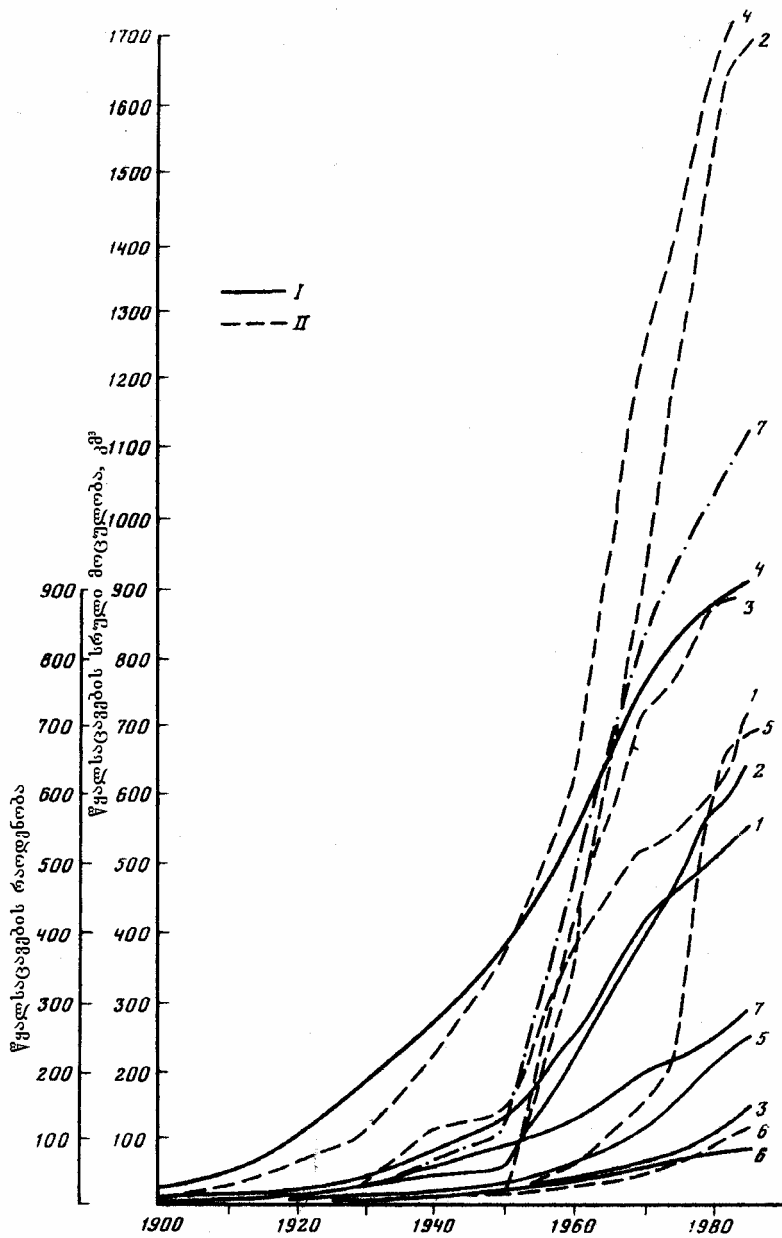
თანამედროვე ეტაპზე წყალსამეურნეო ობიექტების მშენებლობა მსოფლიოს ყველა ქვეყანაში სწრაფი ტემპებით მიმდინარეობს (ცხრ. 1.1.2, ნახ. 1.1.1).

დარეგულირებული ჩამონადენის მოცულობის ზრდა შეინიშნება მსოფლიოს ყველა ქვეყანაში.

2000 წლისათვის დედამიწაზე იყო 32 ათასამდე წყალსაცავი, რომლებიც არსებითად განსხვავდება პარამეტრებით, რეჟიმული მახასიათებლებით, სამეურნეო გამოყენების მიმართულებით და გარემოზე ზემოქმედებით.

10 კმ³-ზე მეტი სრული მოცულობის მსოფლიოს ზოგიერთი წყალსაცავის განლაგება, მათი კონფიგურაცია და სხვა მაჩვენებლები მოყვანილია ნახაზებზე 1.1.2, 1.1.3 და ცხრილში 1.1.3.

რუსეთის მეცნიერებთა აკადემიის წყლის პრობლემების ინსტიტუტის კვლევების საფუძველზე, კაშხლების მსოფლიო რეგისტრის (World Register of Dams) უკანასკნელი გამოცემების, სხვადასხვა ლიტერატურული წყაროებისა და წინამდებარე მონოგრაფიის ავტორთა კვლევების მონაცემებით, ამჟამად დედამიწაზე არსებობს და შენდება 30 ათასზე მეტი წყალსაცავი, 1 მლნ. მ³-ზე მეტი ტევადობით. 100 მლნ. მ³-ზე მეტი მოცულობის წყალსაცავებზე მოდის ყველა წყალსაცავის ჯამური მოცულობის ~95%, თუმცა მათი რიცხვი საერთო რაოდენობის მხოლოდ 14%-ია (ცხრ. 1.1.4). მსოფლიოს წყალსაცავები ხასიათდება ძირითადი მაჩვენებლის – სრული მოცულობის და სხვა პარამეტრების (ფართობი, სიგრძე, სიგანე და ა.შ.) დიდი დიაპაზონით.



ნახ. 1.1.1. 100 მლნ.მზ-ზე მეტი ტევადობის მსოფლიოს წყალსაცავების რაოდენობისა და სრული მოცულობის ზრდის დინამიკა
 I – წყალსაცავების რაოდენობა; II – წყალსაცავების ჯამური სრული მოცულობა, კმ³; 1 – ევროპა; 2 – აზია; 3 – აფრიკა; 4 – ჩრდილოეთ ამერიკა; 5 – სამხრეთ ამერიკა; 6 – ავსტრალია; 7 – რუსეთი

მსოფლიოს უბეჯელესი წყალსაცავების დამახასიათებელი მაჩვენებლები

№	წყალსაცავის დასახელება	მდინარე	ადგილმდებარეობა	ქვეყანა	შექმნის დრო (საორიენტაციო)	პარამეტრები	ექსპლუატაციის დრო	მწყობრიდან გამოსვლის მიზეზები
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	კსოსხაიში (კოშიში)	ნილოსი	მემფისის ზემოთ 20 კმ-ზე	ეგვიპტე	ჩვ.წ.აღ.-მდე 3000 წ.	მიწის კაშხალი $L = 415$ მ; $H = 17,5$ მ.	3000 წ.	მონაცემები არ არის
2	სად-ელ-კაფარი	ნილოსი	ქაიროს სამხრეთით 29 კმ-ზე	ეგვიპტე	ჩვ.წ.აღ.-მდე 2900 წ.	ეორე წყობის კაშხალი ხსნარის გარეშე $L = 121$ მ; $H = 13$ მ; $V_{სრ} = 568$ ათასი მ ³	ერთი სეზონი	კაშხლის გარღვევა წყალმოვარდნისგან
3	ნიმრუდი	ტიგროსი	ქ. სამარასთან	ახლო აღმოსავლეთი	ჩვ.წ.აღ.-მდე 2500 წ.	ქვეყრილის კაშხალი $H = 13$ მ.	ჩვ.წ.აღ.-ის VII ს-მდე	მონაცემები არ არის
4	მერისი	ნილოსის აუზი	ქაიროს სამხრეთ-დასავლეთით 8 კმ-ზე	ეგვიპტე	ჩვ.წ.აღ.-მდე 1800 წ.	$V_{სრ} = 1$ კმ ³ $L_{ნაპირის} = 177$ კმ	ჩვ.წ.აღ.-ის 102 წლამდე	მონაცემები არ არის
5	ხომსი (კატინახი)	ნარ-ელ-ასი (ორონტი)	ს. ხომსი	სირია	ჩვ.წ.აღ.-მდე 1315 წ.	ქვეყრილის კაშხალი $L = 2,29$ კმ; $H = 7$ მ.	დღემდე	–
6	კასირი	ხოსრი	ქ. ნინევიას ზემოთ	ასურეთი	ჩვ.წ.აღ.-მდე 703 წ.	მონაცემები არ არის	–	–

ცხრილი 1.1.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	მარიბი (სულ-ელ- არიბი)	ვადი-ჯანა	ქ. მარიბიდან 64 კმ- ზე	იემენი (საბა)	ჩვ.წ.აღ.-მდე 800 წ.	მიწის კაშხალი $L = 670$ მ; $H = 11,5$ მ.	ჩვ.წ.აღ.-ის 575 წლამდე	რღვეული კაშხლის ტანში. საბოლოოდ დაინგრა ჩვ.წ.აღ.-ის 670 წელს
8	ჯებელ- ბაშიკახი	ხოსრი	ქ. ნინევიასთან	ასურეთი	ჩვ.წ.აღ.-მდე 699 წ.	ორი კაშხალი ქვის კვადრატული ფილებისაგან	მონაცემები არ არის	–
9	არტუმ- გომელი	არტუმ- გომელი	ბავიანის ხეობა	ასურეთი	ჩვ.წ.აღ.-მდე 690 წ.	გამყვანი არხი 56 კმ. მოპირკეთებული კირქვის ფილებით.	მონაცემები არ არის	–
10	მურღაბი	მურღაბი	–	სპარსეთი	ჩვ.წ.აღ.-მდე 600 წ.	სამი კაშხალი	ჩვ.წ.აღ.-ის 1258 წლამდე	დანგრეულია
11	კარნალბო	ალბარე- გასი	–	იბერია (ესპანეთი)	ჩვ.წ.აღ.-მდე II ს.	წყალსაცავი $V_{სრ} = 10$ მლნ.მ ³	ღღემდე	–
12	სავეხი	ფავრეხანი	–	ირანი	ჩვ.წ.აღ.-ის 880 წ.	ქვეყრილის კაშხალი $L = 120$ მ; $H = 40$ მ.	100 წელი	დანგრეულია წყალმოვარდ ნისგან
13	ბანდე- ემირი	–	ქ. შირაზის რაიონში	ირანი	ჩვ.წ.აღ.-ის II ს.	–	ღღემდე	–
14	ჟურურია	–	–	ლათინური ამერიკა	ჩვ.წ.აღ.-ის VII-VIII ს.	წყალსაცავი $V_{სრ} = 220$ მლნ.მ ³ $F = 96$ კმ ² .	ღღემდე	–

მსოფლიოს ზოგიერთი უდიდესი წყალსაცავის ძირითადი მაჩვენებლები
(სრული მოცულობით 50 კმ³-ზე მეტი, სარკის ფართობით 5000 კმ² და მეტი)
(А.Б. Авакян, В.П. Салтанкин, М.А. Фортунатов)

№	წყალსაცავები *	ქვეყანა	მდინარე, ტბა	კაშხლის სიმაღლე	წყალსაცავის მოცულობა, კმ ³		წყლის სარკის ფართობი, კმ ²		წყალსაცავის სიგრძე, კმ	გამოყენება
					სრული	სასარ- გებლო	საერთო	მკვდარ დონეზე		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	ბრატსკის	რუსეთის ფედერაცია	ანგარა	106	169,3	48,2	5470	-	565	ენ ხ თ მ
2	ვადი-ტარტარი	ერაყი		მონაცემები არ არის	72,8	43,5	2000	-	100	წ ი
3	ვიქტორია (ოჟენ-ფოლსი)	უგანდა, კენია, ტანზანია	ვიქტორია, ნილოსი, ტბა ვიქტორია	31	მონაცემები არ არის	204,8	76000	68000	320	ე თ ი
4	ვოლტა (აკოსომბო)	განა	ვოლტა	70	198,0	90,0	8480	-	400	ენ ი თ წ
5	გორდონი (მ. სრუმი)	კანადა	პისი	165	70,1	37,0	1683	-	360	ე წ ნ
6	გური (ელ- მანტეკო)	ვენესუელა	კარონი	136	111,2	55,0	1500	-	70	ე მ
7	ზეისკის	რუსეთის ფედერაცია	ზეა	98	68,4	32,1	2419	-	225	წ ე ნ ხ თ

ცხრილი 1.1.2 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	კაბორა-ბასა	მოზამბიკი	ზამბეზი	65	63,0	მონაცემები არ არის	2700	–	137	ე წ ნ ხ თ
9	კრასნოიარსკის	რუსეთის ფედერაცია	ენისეი	100	73,3	70,4	2000	–	388	ე ნ ხ მ წ თ
10	კუიბიშევის	რუსეთის ფედერაცია	ვოლგა	29	58,0	34,6	6450	–	650	ე ნ ი მ თ
11	ლა-გრანდი-2	კანადა	ლა-გრანდი	150	60,8	28,8	4085	–	120	ე
12	ნასერი (ასუანი)	ეგვიპტე, სუდანი	ნილოსი	95	157,0	74,0	5120	–	500	ი ე წ ნ თ
13	ირკუტსკის	რუსეთის ფედერაცია	ანგარა, ბაიკალის ტბა	30	–	47,6	32966	31500	700	ე ნ ხ თ მ
14	ვენერნი	შვედეთი	ვენერნის ტბა	მონაცემები არ არის	–	7,2	5550	5500	140	ე ნ მ
15	ონეგის (ზემო სვირის)	რუსეთის ფედერაცია	სვირი, ონეგის ტბა	17	–	13,1	9930	9700	100	ე ნ ხ თ მ
16	ონტარიო (იროკუეი)	კანადა, აშშ	მდ. წმ. ლავრენტი, ონტარიოს ტბა	23	–	30,0	19544	19500	310	ე ნ წ მ კ
17	ჩერჩილი	კანადა	ჩერჩილი	14	32,3	28,0	5698	2849	140	ე

* ფრჩხილებში მითითებულია წყალსაცავის ან ჰიდროკვანძის სხვა დასახელება

პირობითი აღნიშვნები: ე – ენერგეტიკა; ი – ირიგაცია; წ – წყალმოვარდნებთან ბრძოლა; ნ – ნაოსნობა; ხ – ხე-ტყის დაცურება; მ – წყალმომარაგება; თ – თევზის მეურნეობა; კ – წყლის კონსერვაცია სხვადასხვა მიზნებისათვის

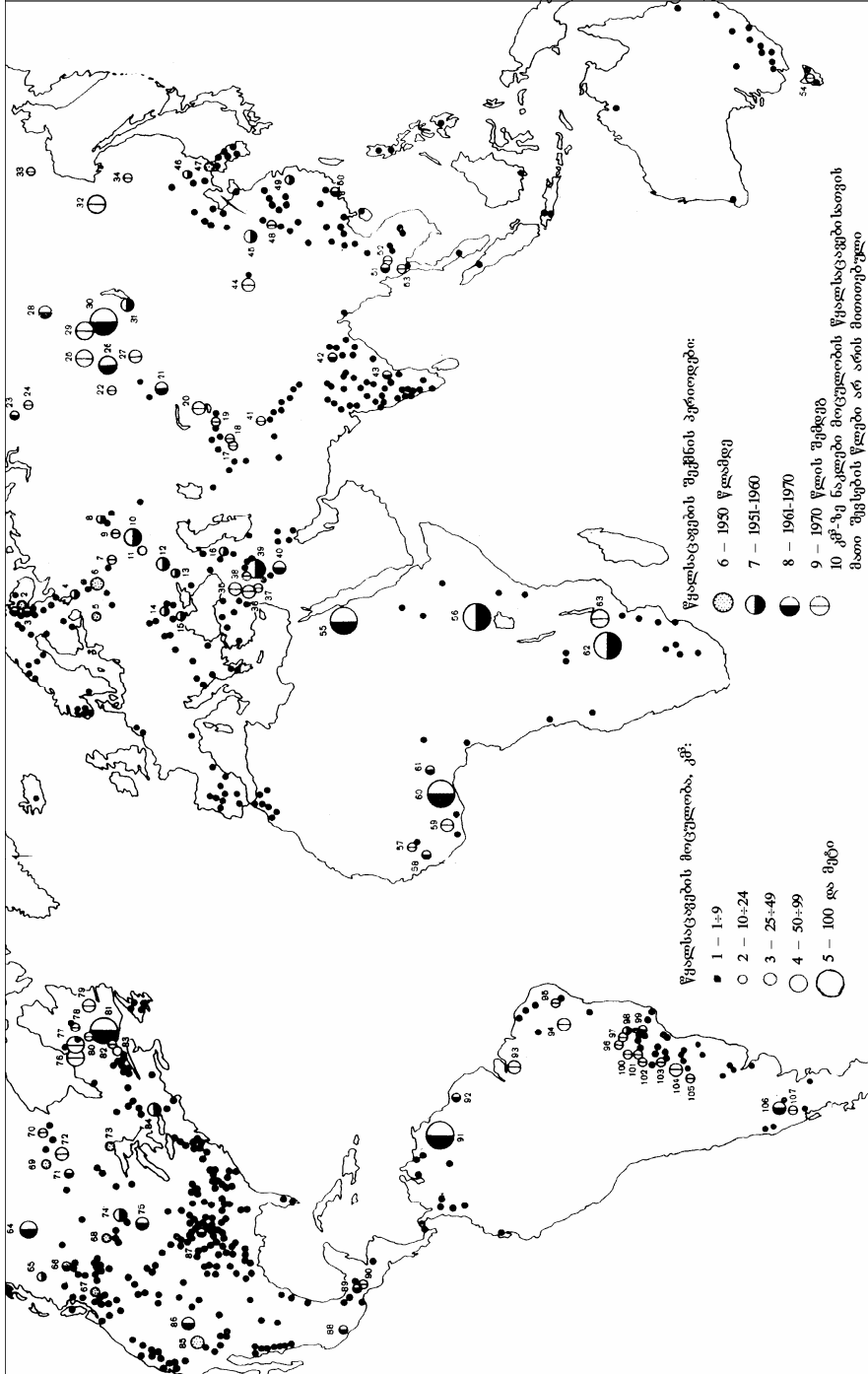
მსოფლიოს 10 კმ³-ზე მეტი მოცულობის წყალსაცავები*

№	წყალსაცავი	შეესების წელი	სრული მოცულო- ბა, კმ ³	№	წყალსაცავი	შეესების წელი	სრული მოცულო- ბა, კმ ³
1	2	3	4	5	6	7	8
ევროპა							
1	ვერხნე ტულომსკის	1963	11,5	29	უსტ-ილიმსკის	1974	59,4
2	იმანდრის	1936	11,2	30	ბრატსკის	1961	169,3
3	კუმის	1962	13,4	31	ბაიკალის (ირკუტსკის)	1956	47,6
4	ონგის (ზემო სვირის)	1951	13,8	32	ზეისკის	1974	68,4
5	ილმენის (ვოლხოვის)	1926	10,2	33	კოლიმის	1985	14,6
6	რიბინსკის	1940	25,4	34	ბურეის		22,5
7	ჩეხოქსარის		13,8	აზია			
8	კამსკის	1954	12,2	35	ქებანის	1976	31,0
9	ნიუნგეამსკის	1981	12,9	36	ათათურქის		48,7
10	კუიბიშევის (სამარის)	1955	56,0	37	ასადის (ტაბკა)	1976	14,0
11	სარატოვის	1967	12,4	38	მოსულის		11,1
12	ვოლგოგრადაის	1958	31,4	39	ვადი ტარტარის	1956	72,8
13	ციმლიანსკის	1952	23,9	40	აბუ-დიბისის (რაზაზა)	1970	26,0
14	კრემენჩუგის	1959	13,5	41	ტარბელის	1976	13,7
15	კახოვის	1955	18,2	42	რიხანდის	1962	10,6
16	მინგეაურის	1953	16,1	43	ნაგარჯუნა საგარის	1969	11,6
17	ნურეკის	1972	10,5	44	ლუნციანსკის		26,5
18	როგუნსკის	1972	11,8	45	სანმინსიას	1960	35,4
19	ტოქტოგულის	1973	19,5	46	ფინმანის	1955	10,8
20	კაპჩაგაის	1970	28,1	47	სუჰსუნსოს	1940	12,0
21	ბუსტარმინსკის	1960	49,6	48	დანციანკოუს	1974	20,9
22	კრაპივინსკის		11,6	49	სინანიანის	1961	21,6
23	ხანტაის	1970	23,5	50	სინფინიანის	1961	13,9
24	კურეისკის		13,4	51	ბუმეიფოლის	1964	13,4
25	ბოგუჩანსკის		58,2	52	სარიკიტის	1972	10,5
26	კრასნოიარსკის	1967	73,3	53	ბან-ჩაო-ნენის	1977	17,8
27	საიანის	1981	29,1	აფრიკა და ოკეანეთი			
28	ვილიტისის	1965	35,9	54	გორდონის	1974	11,8

ცხრილი 1.13 (გაგრძელება)

აფრიკა			81	დანიელ-ჯონსონის	1968	141,8	
55	ნასერის	1970	157,0	82	მანიკაგუანი-3	1974	10,4
56	ვიქტორიას	1954	204,8	83	ბერსიმისის (ლაკ-კასე)	1955	12,3
57	მანანტალის	1980	13,1	84	ონტარიოს	1958	30,0
58	სუაპიტის	1961	17,2	85	მიდის (გუგური)	1935	36,8
59	კოსუს	1972	29,5	86	პოუელის	1963	33,3
60	ვოლტას	1964	148,0	87	ტუინ-კეინის	1965	18,0
61	კაინჯის	1967	15,1	88	ინფერნილოს	1964	18,5
62	კარიბას	1958	160,4	89	ნეცაულა-სკოიოტლის	1966	13,0
63	კაბორა ბასას	1977	63,0	90	ანგოსტურას	1974	18,5
ჩრდილოეთ ამერიკა			სამხრეთ ამერიკა				
64	გორდონ მ. ხრუმის	1968	70,1	91	გურის	1968	13,5
65	ნეჩაკოს	1952	22,2	92	ბროკოპონდოს	1964	12,4
66	მიკას	1973	24,7	93	ტუკურუის	1983	43,0
67	ფრუზველტის (გრანდ კული)	1941	11,8	94	სობრადინოს	1978	34,2
68	ფორტ-პეკის	1939	23,9	95	იტაპარიკას		10,7
69	რეინდირის	1937	17,9	96	იტუმბიარას	1980	17,0
70	მისის	1975	10,0	97	ემბარკაკაუს	1982	17,6
71	გრანდ რაპიდსის	1965	11,1	98	ტრეს-მარიასის	1960	19,2
72	ვინიპეგის		29,8	99	ფურნასის	1962	20,9
73	ნიპიგონის	1950	12,4	100	სან სიმანის	1978	12,5
74	პარისონის (საკაკავეა)	1954	30,6	101	აგუა ვერმელიას	1975	11,0
75	ოახეს	1963	29,1	102	ილია სოლტეირას	1973	21,2
76	ლა-გრანდ 2	1984	60,8	103	კაპივარას	1970	10,5
77	ლა-გრანდ-3	1982	56,0	104	იტაიპუს	1983	29,0
78	კანიპისკოს		21,2	105	იაკურეტა აპიპეს		16,9
79	ჩერჩილის	1971	32,3	106	სეროს-კოლო-რადოსის	1969	48,0
80	ლა-გრანდ-4	1983	20,9	107	ელ-ჩოკონის	1973	20,2

* წყალსაცავების ნუმერაცია შეესაბამება მათი განლაგების სქემას (ნახ. 1.1.2)



ნახ. 1.12. 1 კმ-ზე მეტი სრული მონაცემების მსოფლიოს წყალსაცემების განლაგების სქემა.
(წყალსაცემების ნუმერაცია მოყვანილია ცხრ. 1.13-ში).

ცხრ. 1.14-ში მოყვანილი 100 მლნ მ³-ზე მეტი მოცულობის წყალსაცავების ჯამური მონაცემების გათვალისწინებით შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ მათი ჯამური სრული მოცულობა მთლიანად დედამიწაზე აჭარბებს 6 000 კმ³-ს.

ცხრილი 1.14

მსოფლიოს 100 მლნ მ³-ზე მეტი სრული მოცულობის წყალსაცავების შექმნის დინამიკა

წყალსაცავების შექმნის პერიოდი	ევროპა	აზია	აფრიკა	ჩრდილოეთ ამერიკა	ცენტრალური და სამხრეთ ამერიკა	ავსტრალია და ოკეანეთი	სულ
1900 წლამდე	$\frac{9}{3}$ *	$\frac{5}{2}$	$\frac{1}{-}$	$\frac{25}{9}$	$\frac{1}{-}$	-	$\frac{41}{14}$
1901-1950 წწ.	$\frac{104}{122}$	$\frac{46}{18}$	$\frac{15}{15}$	$\frac{342}{344}$	$\frac{22}{18}$	$\frac{10}{11}$	$\frac{539}{528}$
1951-1985 წწ.	$\frac{404}{491}$	$\frac{526}{1068}$	$\frac{89}{870}$	$\frac{516}{1325}$	$\frac{179}{623}$	$\frac{63}{66}$	$\frac{1777}{4982}$
სულ	$\frac{517}{616}$	$\frac{577}{1628}$	$\frac{105}{885}$	$\frac{883}{1678}$	$\frac{202}{641}$	$\frac{73}{77}$	$\frac{2357}{5552}$

* პრიცხველში – რაოდენობაა, მნიშვნელში – წყალსაცავის სრული მოცულობაა, კმ³

მთის წყალსაცავების შექმნა განპირობებულია ტაფობის ფერდების მნიშვნელოვანი დამრეცობით და სიღრმით, წყალსაცავის ტაფობის ქანების მაღალი სიმტკიცით და წყალგაუმტარობით. ასე, მაგალითად:

- ამიერკავკასიის რეგიონის წყალსაცავები გამოირჩევა მნიშვნელოვანი სიღრმით: ენგურის – 225 მ, ჩერკეისის – 215 მ, ჟინვალისა და სარხანის – 110-115 მ, ირგანაის – 95 მ, მინგეჩაურის, სიონის, შამქორის, ახერიაანისა და კიდევ 15 წყალსაცავი – 75-50 მ. [ნ.გ. ვარაზაშვილი და სხვ. 1976, 1991, 1996, 2002; ი.კ. იორდანიშვილი 2004, 2006, 2008];

- შუა აზიის წყალსაცავები: ნურეკის (მოცულობა – 105 კმ³, H = 300 მ), ტოქტოგულის (მოცულობა – 19,5 კმ³, H = 180 მ), ჩარვაკის (მოცულობა – 2 კმ³, H = 170 მ), გამოირჩევა ფერდების დიდი დამრეცობით და მათი შემადგენელი ქანების მაღალი სიმტკიცით და წყალგაუმტარობით;

- მთიან ურალში ექსპლუატაციაშია 200-მდე წყალსაცავი, ჯამური მოცულობით 12 კმ³ და სარკის ფართობით 1,5 ათას კმ²-მდე;

- ციმბირისა და შორეული აღმოსავლეთის წყალსაცავები უპირატესად ველის ტიპისაა, წყლის სიმაღლით საიანის წყალსაცავზე – 220 მ და უსტ-ილიმსკის, ზეისკისა და ხანაისკის წყალსაცავებზე – 50-40 მ. ღრმა რეგულირებით გამოირჩევა: ბრატსკის, კრასნოიარსკის, ბაიკალისა და სხვა წყალსაცავები;

- ჩრდილოეთ ინგლისის, უელსისა და შოტლანდიის მთიანი რაიონების წყალსაცავები, საერთო მოცულობით 61 კმ³, პრაქტიკულად, არ ახდენს გავლენას ბუნებაზე.

შვეიცარიასა და ავსტრიაში (ალპები, იურა, შვაბ-ბავარიის პლატო) წყალსაცავების მასობრივი შექმნა დაფიქსირდა XX საუკუნის დასაწყისიდან. 1980 წლისათვის ამ რეგიონებში წყალსაცავების საერთო რაოდენობამ 200-ს გადააჭარბა. შვეიცარიაში წყალსაცავები, ძირითადად, განლაგებულია 500 მ-ზე ზედა ნიშნულზე.

მსხვილი მაღალმთიანი წყალსაცავების სარკის ფართობი (გრანდ-დიქსანსი, ემოსონი, გეპაჩი, ზამერ-ბოდენი და სხვ.) 3÷4,5 კმ²-ს აღწევს, წყალსაცავის 20-25 კმ-მდე სიგრძისას. მთის წყალსაცავების სიღრმე აღწევს 200-300 მ-ს (მოვუაზენი, გრანდ-დიქსანი, ვოგორნო).

იტალიაში ყველაზე ღრმა ალპური წყალსაცავებია: მაინა-დისაურისი, სანტა-ჯუსტინა, ფორტე-ბუზო, კანკანო, ბორეგარდი, ფრერა, ვალ-იონი, ალპე-გურა, პიასტრა, კაპრილე და სხვ.

სომხეთში, მთიანი რეგიონების პირობებში შექმნილი წყალსაცავების კასკადის დამახასიათებელი მაგალითია სევან-რაზდანის ჰესების კასკადი მდ. რაზდანზე, რომელიც სათავეს იღებს მაღალმთიანი სევანის ტბიდან. მდინარის ზემო წელი მიედინება ღრმა ხეობაში, ქვემო წელი კი ეშვება პლატოთი არარატის ველზე. კასკადის შემადგენლობაში შედის 9 ჰესი, საერთო სიმძლავრით 900 მგვტ-მდე.

ქვეყნის ენერჯით მომარაგების გარდა, კომპლექსი შეიცავს 17 საირიგაციო არხს, რომლებიც განკუთვნილია 100 ათასი ჰა მიწის მოსარწყავად.

ბევრმა წყალსაცავმა გარდაქმნა მდინარეთა ხეობების ლანდშაფტი ფართობის, მოცულობის, განფენილობის და სიღრმის მხრივ. ასე, მაგალითად, თუ პლანეტის წყალსაცავების მოცულობა წინა საუკუნეებში 15 კმ³-მდე იყო, ამჟამად მან 7 ათას კმ³-ს გადააჭარბა. პერსპექტივაში ნავარაუდევია დედამიწის მდინარეთა 2/3-ის დარეგულირება.

აუცილებლად გასათვალისწინებელია, რომ წყალსაცავიანი წყალსამეურნეო სისტემების შექმნისას, მდინარეთა ჩამონადენის დარეგულირებასთან ერთად, საჭიროა მხედველობაში იქნეს მიღებული მათი ბიოლოგიური, ენერგეტიკული, მიწების და რეკრეაციული რესურსები, ასევე ბუნებაზე მათი ნეგატიური გავლენის ასპექტები.

12. სარმატელის გეობრაფიული პირობების დახასიათება

12.1. შავი და კასპიის ზღვების აუზების ბანვითარების დინამიკა

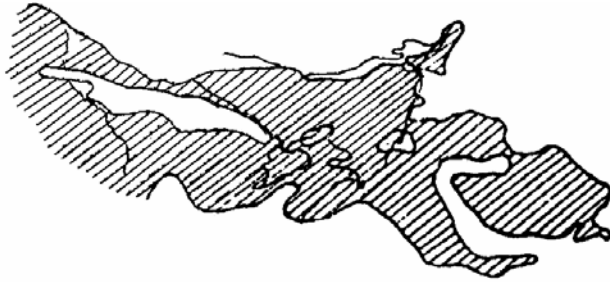
შავი და კასპიის ზღვების აუზები, რიგი მკვლევარების თანახმად, წარმოადგენს ნაკეცი მასივების ჩაძირვის შედეგს. მათი ჩაძირვა კომპენსირდებოდა ყირიმის, კავკასიონის, პონტოს, სტარო-პლანინის მთების ამადლებით. ზღვის ქვაბულების ფორმირება, რიგი მკვლევარების აზრით, მოხდა ოლიგოცენის, სხვათა აზრით – ნეოგენის ან მეოთხეულ ხანაში. რიგი მკვლევარების აზრით შავი ზღვის აუზი პონტოს ფილის ნაწილია, რომელიც შემოფარგლულია ახალგაზრდა ნაკეცი მთებით. მისი აღმოსავლეთი ნაწილი იძირებოდა, ხოლო დასავლეთის (მიზიუმის ფილა) – მადლდებოდა. ახალმა მონაცემებმა გვაიძულა ხელახლა გადაგვეხედა შეხედულებები შავი ზღვის აუზის წარმოშობის შესახებ.

შავი ზღვის აუზი პალეოზოის ხანის დედამიწის ქერქის ნარჩენია. აქ დედამიწის ქერქი ორი შრისგანაა შედგენილი. ქვედა – ბაზალტის, და ზედა – დანალექების შრეები. აუზის აღმოსავლეთ ნაწილში ბაზალტის შრის სისქე 10-14 კმ-ია.

დანალექი შრე წარმოიშვა პალეოზოის და მეზოზოის ხანაში ტექტონის ოკეანის გეოსინკლინური შრის ფორმირებისას. მაშასადამე, შავი ზღვის აუზი უნდა განიხილებოდეს, როგორც რელიქტური სუბტროპიკული ზონა და იგი შეიცავს ჰერცინაკულ, ალპურ და უფრო ძველი წარმოშობის სტრუქტურულ ელემენტებს.

შავი ზღვის აუზის ქვაბულის ასაკი დისკუსიების მუდმივი ობიექტია. მკვლევართა ერთი ჯგუფი თვლის, რომ ათეული მილიონი წლების წინ შავი და აზოვის ზღვები შეერთებული იყო ტექტონიის ზღვით, რომელიც შემდეგ დაიშალა ცალკეულ დახურულ აუზებად, რომელთა შორის ამადლდა კავკასიის, ყირიმის, სტარო-პლანინის, კარპატისა და მცირე აზიის მთები.

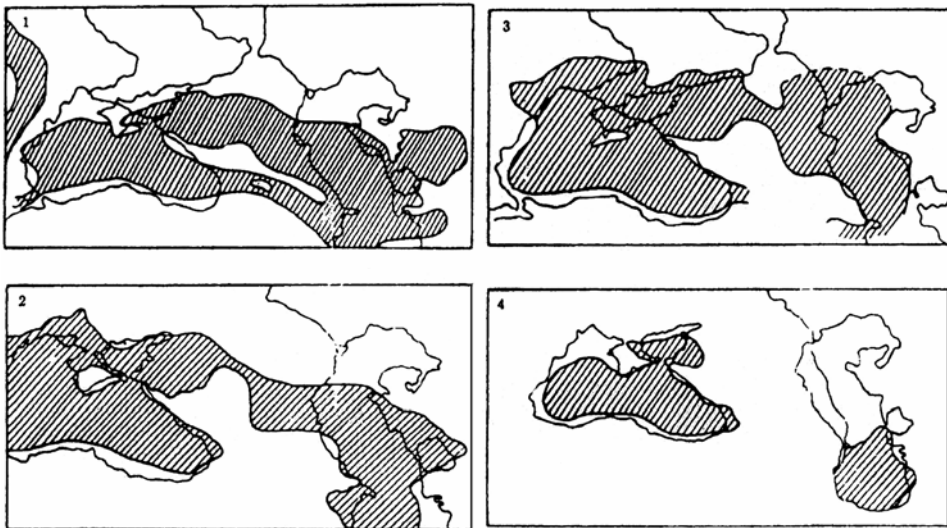
სარმატის ხანაში ამ აუზებიდან ერთ-ერთი შეიცავდა შავი ზღვის და კასპიის ღრმულებს. წარმოიქმნა დიდი სარმატის ტბა, რომელიც ამ ორი ზღვის გარდა, შეიცავდა კავკასიის წინა ნაწილს, არალის ზღვისა და შუა დუნაის ღრმულს (ნახ. 12.1). შემდგომ ტექტონიკური მოძრაობის შედეგად გაჩნდა პონტოს ტბა – ზღვა. ეს იყო ბოლო აუზი, რომელიც აერთებდა შავ და კასპიის ზღვებს – აქტიურმა ტექტონიკურმა მოძრაობამ ლევანტის დასაწყისში გამოიწვია პონტოს აუზის დაშლა.



ნახ. 1.2.1. სარმატის ზღვა (ანდრუსოვისა და ხოგუს მიხედვით)

თუ ჩავთვლით, რომ შავი ზღვის დრმულის გაჩენა მოხდა პლიოცენის დასაწყისში, მაშინ მისი ასაკი 7 მლნ წელია, თუ ჩავთვლით, რომ იგი გაჩნდა შუა პლიოცენში, მისი ასაკი 5 მლნ წელია. ამ დროის მანძილზე ტაფობის დრმული ჩაიძირა 4 ათ. მ-ით. ჩაძირვის საშუალო სიჩქარე პლიოცენიდან ჩვენს დრომდე $0,6 \pm 0,8$ მმ/წელ-ია. ტრანსგრესიამ, რომელიც ვრცელდებოდა კონტინენტალური ფერდობის გარეთაც, გამოიწვია თანამედროვე შეღფური ზონის წარმოქმნა.

მეოთხეულ ხანაში შავი და კასპიის ზღვების აუზები განვითარდა შემდეგი ეტაპების მიხედვით: ჩაუდინის, უძველესი ევქსინის, უზუნღარის, კარანგათის, ახალი ევქსინის და უძველესი შავი ზღვის წარმოშობით (ნახ. 1.2.2).



ნახ. 1.2.2. შავი და კასპიის ზღვების აუზების განვითარება
 1 – საშუალო მიოცენის აუზი; 2 – მეოტისის აუზი;
 3 – კიმერიის ხანა; 4 – პონტოს ტბა – ზღვა

ჩაუდინის ქანები სანაპიროზე მცირედაა შენარჩუნებული. ამ პერიოდის ტიპური ქანები შეიმჩნევა ჩაუდის კონცხთან (ქერჩის სამხრეთი ნაწილი). კავკასიის სანაპიროზე ჩაუდინის ტერასა ზღვის დონიდან 100-10 მ სიმაღლეზე შეიმჩნევა გელენჯიკის რაიონში, ტუაფსეში, აფხაზეთში და ა.შ.

როდესაც შავ ზღვასა და ხმელთაშუა ზღვას შორის არ არსებობდა კავშირი, შავი და კასპიის ზღვა შეერთებული იყო ყუმი-მანიჩარის სრუტით. ეს ეტაპი ვითარდებოდა სიცილიური ტერასების წარმოშობასთან ერთად. კავკასიის სანაპიროზე, კერძოდ, მდ. რიონის შესართავთან უძველესი ევქსინის ტერასა შეიმჩნევა 190 მ სიღრმეზე. შავი და კასპიის ზღვების კავშირზე მეტყველებს ორივე აუზის ფაუნის იდენტურობა. უზუნდარის აუზი იყო უფრო მარილიანი (16%) ვიდრე უძველესი ევქსინის. კავკასიის სანაპიროზე უზუნდარის ტერასა განლაგებულია ზღვის დონიდან 40-45 მ-ზე მაღლა, ხოლო სტრანდუანის და სტაროპლანინის ნაპირებზე – 30-40 მ სიმაღლეზე. კარანგათის ეტაპზე შავი ზღვის წყალი მარილიანდება (22%-მდე) და გამოირჩევა ხმელთაშუა ზღვის ფაუნის ანალოგიურობით. კავკასიის სანაპიროზე შეიმჩნევა ორი კარანგათის ტერასა, რომელთა სისქე 24-26 მ და 12-14 მ-ია. მდ. რიონის შესართავთან კარანგათის ტერასა შეიმჩნევა შავი ზღვის დონიდან 150 მ სიღრმეზე.

შავი ზღვის აუზის განვითარების ბოლო ეტაპებზე გამოირჩევა ჰოლოცენური რეგრესიები, როდესაც შავი ზღვის დონე დაწეული იყო 90 მ-ით. მაშინ შავი და ხმელთაშუა ზღვების კავშირი ბოსფორის სრუტის მეშვეობით – შეწყდა. შავი ზღვის წყლები გამტკნარდა 7%-მდე. ეს რეგრესია (25-30 ათასი წლის წინ) დასტურდება ახალი ევქსინის დანალექებით შეღვის ძირში. კავკასიის მდინარეების კალაპოტი გაღრმავდა 40-50 მ-ით.

შავი ზღვის ახალი ტრანსგრესიის პერიოდში (10 ათასი წლის წინ) კავშირი შავ და ხმელთაშუა ზღვებს შორის აღსდგა ბოსფორის მეშვეობით. შავი ზღვა მარილიანდება. შავი ზღვის ახალი ხანის განვითარებისას გაჩნდა ტერასა, რომლის სისქე 3,5-4 მ-ია. შემდგომი ტრანსგრესიის დროს წარმოიქმნა ნიმფეური ტერასა 1,5-2 მ სიმაღლეზე.

უძველეს დროს მრავალჯერ ხდებოდა შავი ზღვის დონის ცვალებადობა, რის გამოც ზღვამ გაანადგურა უძველესი საბერძნეთის ტაძრები, მაგალითად ქალაქი ოლვია, რომელიც მდებარეობდა სამხრეთ უკრაინის სანაპიროზე. წყლის ქვეშ მოხვდა ქ. ხერსონესი, პანტიკოპეა (ყირიმში), ფინოგორია (ტამანის ნახევარკუნძულზე), დიოსკურია (კავკასიის სანაპიროზე). არქეოლოგები თვლიან, რომ IV-III ს.ჩვ.წ-ად-მდე შავი ზღვის დონე 3-4 მ-ით დაბალი იყო თანამედროვეზე. ამ

რეგრესიას ფინაგორიის რეგრესია ეწოდება.

მეოთხეულ ხანაში შავი ზღვის დონის ცვლილება განპირობებულია ბოსფორისა და დარდანელის ტექტონიკური მოძრაობებით.

მკვლევართა სხვა ჯგუფის აზრია, რომ შავი ზღვის დონის აწევდაწევა პლეისტოცენში და ჰოლოცენში მსოფლიო ოკეანის ევსტატიური რხევებითაა განპირობებული, რაც გამოწვეულია კლიმატის ცვლილებებით.

შავი ზღვის დონის ცვლილებები მჭიდროდაა დაკავშირებული კლიმატურ ცვლილებებთან, რომელიც ხდებოდა დედამიწაზე [ი. იორდანიშვილი და სხვ. 2008].

ანთროპოგენური დატვირთვის შედეგად, რაც გამოწვეულია თანამედროვე ტექნოლოგიების განვითარებით, დედამიწაზე უკანასკნელი 60 წლის მანძილზე შეინიშნება ეკოლოგიური დათბობის მოვლენა. XIX საუკუნის მეორე ნახევრიდან დედამიწაზე საშუალო ტემპერატურამ უკვე მოიმატა 0,6°-ით. XXI საუკუნის შუა პერიოდში ტემპერატურა დედამიწაზე მოიმატებს 4°-მდე.

2007 წელს გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის ეგიდით ჩატარდა პირველი თათბირი 80-ზე მეტი ქვეყნის მონაწილეობით, სადაც გააანალიზეს დათბობის მიზეზები და შედეგები. რუსეთმა დაიკისრა მოვალეობა, არ გაზარდოს ანთროპოგენური აირების რაოდენობა და შეინარჩუნოს მათი რაოდენობა 1990 წლის დონეზე. დღეისათვის არ არსებობს ორგანიზაცია, რომ გააკონტროლოს გარემოს დაბინძურების მასშტაბები.

გამოჩენილი ქართველი მეცნიერი, აკადემიკოსი ცოტნე მირცხულავა უკვე დიდი ხანია აკონსტატირებს ანთროპოგენური მოქმედებისგან დედამიწაზე **გლობალური დათბობით** გამოწვეულ უარყოფით შედეგებს, ესენია – წყალდიდობები, წყალმოვარდნები, ეროზია, გაუდაბნობა და სხვ. ცნობილია, რომ არსებული აირების გარეშე დედამიწის ტემპერატურა 33°-ით ნაკლები იქნებოდა. დედამიწაზე „თბური ეფექტის“ შენარჩუნების ბალანსი შემდეგია: CO₂-სგან – 65%, CH₄-სგან – 20%, ჰალოგენების აირებისაგან – 10%, N₂O-სგან – 4,5%. ატმოსფეროში XXI საუკუნის ბოლოს CO₂-ის რაოდენობა გაიზრდება 2-ჯერ, რაც გამოიწვევს დედამიწაზე დათბობას 4°-ით. ბოლო დროის მონაცემების საფუძველზე მსოფლიო ოკეანის დონემ უკვე აიწია 10-26 სმ-ით.

ჩრდილოეთ ყინულოვან ოკეანეში წყლის დონის აწევა წელიწადში 2,6 მმ-ია, ატლანტიკურ ოკეანეში – 1,9 მმ/წელ., წყნარ ოკეანეში – 0,9 მმ/წელ., ინდოეთის ოკეანეში – 0,6 მმ/წელ. ეს იმას ნიშნავს, რომ ყინულოვანი ოკეანის ყინულების დადნობის გამო დონის დაწევა ვრცელდება ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ.

პალეოკლიმატოლოგებმა დაამტკიცეს კლიმატის ცვალებადობის რითმი. მათ მიერ დადგენილია კლიმატის 3-11, 25-35 და 70-წლიანი ციკლურობა. მზის ლაქების გაჩენაც 11-12, 33- და 70-წლიანი ციკლურობითაა ცნობილი. კლიმატის ცვალებადობის ასეთი ციკლურობა მტკიცდება რიგი არქეოლოგიური კვლევებით და მემბტიანეების მონაცემებით. მაგალითად, 1550-1880 წლებში ჩრდილოეთში შეიმჩნეოდა ე.წ. „ყინულოვანი მცირე პერიოდი“, როდესაც ჰაერის ტემპერატურა 2°-ით დაბალი იყო დღევანდელზე. ამ დროს ატლანტიკის ოკეანის ჩრდილოეთ ნაწილში შეიმჩნეოდა ძლიერი შტორმები.

შუა საუკუნეების მემბტიანეს ხელნაწერებში აღნიშნულია, რომ რუსეთში ბოლო სამ საუკუნეში შეიმჩნეოდა 8-12 გვაღვა.

ასეთი ეგზოგენური გარე ფაქტორების გარდა, ბოლო ხანს რიგი მკვლევარები ენდოგენურ (შიდა) ფაქტორებზე მიუთითებს. წყლის მოცულობის გაზრდას უკავშირებენ დედამიწის წიაღიდან ამოსულ იუვენილურ წყალს. მაშასადამე, წყლის მოცულობის გაზრდა დედამიწაზე შეიძლება ხდებოდეს დედამიწის წიაღიდან წყლის ამოსვლითაც. ასეთი წყლები ჰიდროთერმული წყლების სახითაც ამოდის ოკეანეებისა და ზღვების ფსკერიდან. ჰიდროთერმული წყლის მინერალიზაცია შეიძლება 10-ჯერ აღემატებოდეს ოკეანის წყლის მინერალიზაციას. ჩვენი გაანგარიშების საფუძველზე შეიძლება ითქვას, რომ იმ შემთხვევაში, თუ ოკეანეებისა და ზღვების წყალში არსებული ქიმიური ელემენტები უეცრად დაილექება, მაშინ მათი სისქე 30 მ-ს მიაღწევს!

რუსეთის ჰიდრომეტეოცენტრის მონაცემებით, 2007 წ. კლიმატი რუსეთში ყველაზე თბილი იყო იმ მონაცემთა რიგში, რომელიც არსებობს ჰიდრომეტეოროლოგიურ დაკვირვებებში და 2°-ით მაღალი იყო ნორმაზე, ხოლო გარემოს დაცვის საერთაშორისო ფონდის ექსპერტების მონაცემებით წარსულში კლიმატის ცვლა არაერთხელ ხდებოდა, მაგალითად შუა საუკუნეებში ისე თბილოდა, რომ ყინულოვანი გრენლანდია *მწვანე ქვეყნად* იყო ცნობილი. დინოზავრების ეპოქაში კლიმატი 7°-ით თბილი იყო. მაგრამ ჯერ იცვლებოდა ტემპერატურა და შემდეგ – სითბური აირების კონცენტრაცია. დღეს პირიქით ხდება: აღინიშნება ნახშირორჟანგის და მეთანის არნახული ზრდა, რაც იწვევს ტემპერატურის აწევას. ეს შეიძლება აიხსნას ტყეების განადგურებით და წიაღისეული საწვავის წვით.

სოფლის მეურნეობისათვის კლიმატის ასეთი დათბობა ჯერჯერობით ხელსაყრელია. მაგრამ, თუ ასეთი ტენდენცია გაგრძელდება, 2020 წლისთვის ჩრდილოეთ კავკასიაში მარცვლოვანი კულტურების მოსავლიანობა შემცირდება 20%-ით, ჩრდილოეთისაკენ კი – 15%-ით.

1998, 2005 და 2007 წლები მთელ პლანეტაზე თბილი იყო. ბოლო 15 წლის მანძილზე თბილი წლების რაოდენობა იყო 10, ხოლო 25 წლის მანძილზე – 20. 2007 წელს დაფიქსირდა არქტიკის ყინულის ფენომენალური დნობა, ზაფხულის ბოლოს მისი ფართობი შეადგენდა სულ 4,4 მლნ კმ²-ს, ხოლო 30 წლის წინ იგი 8 მლნ კმ² იყო (ორჯერ მეტი). დედამიწაზე ტემპერატურის გაზრდა 2°-ით გაუსაძლის პირობებს შეუქმნის 50 მლნ ადამიანს, ხოლო 3°-ით გაზრდა – 3 მლრდ ადამიანს. გლობალურმა დათბობამ 2005 წელს რუსეთში გამოიწვია გათბობის სეზონის შემცირება 5 დღით. მეორე მხრივ, ეს გამოიწვევს კონდიციონერების კიდევ უფრო აქტიურ გამოყენებას და ენერგეტიკული სიმძლავრეების გაზრდას.

350 წლის წინ იაკუტიაში ზაფხულში მიწა არ ღვებოდა და მარცვლოვანი კულტურები არ ითესებოდა. XX საუკუნეში დედამიწაზე ტემპერატურა უკვე 0,7°-ით გაიზარდა, ხოლო იაკუტიაში – 5°-ით. აქ შეინიშნება შენობების მნიშვნელოვანი ჯდენა (90%-მდე).

კლიმატის გლობალური ცვლილება, რაც ღვეს შეინიშნება, გამოწვეულია ყინულის მსოფლიო მარაგის (30 მლნ. კმ³) უფრო სწრაფი დნობით, ვიდრე ეს მოსალოდნელი იყო (918,4 კმ³/წ). გაეროს გარემოს დაცვის პროგრამის (2007 წ.) მონაცემებით, რომლებიც წარმოდგენილი იყო ტრომში (ნორვეგია) დედამიწის მოსახლეობის 40% აღმოჩნდება ყინულის მსოფლიო მარაგის გაძლიერებული დნობის გავლენის ქვეშ. ყინულის დნობა გამოიწვევს მსოფლიო ოკეანის დონის აწევას, რაც, თავის მხრივ, გამოიწვევს სასოფლო-სამეურნეო მიწების დატბორვას, კუნძულების ჩაძირვას და სხვადასხვა დანიშნულების ნაგებობების ნგრევის რისკის გაზრდას. ასე მაგალითად, ყინულის დნობის შედეგად ჩინეთის ტერიტორიაზე მყინვარების მოცულობა უახლოეს დროში შემცირდება 50%-ით, ციმბირში და კოლხეთში გაიზრდება დაჭაობებული ტერიტორიები, კავკასიაში მთის მყინვარების დნობის შედეგად მცირდება მყინვარული წყლის მარაგი. ანტარქტიკის და გრენლანდიის ყინულის სახით არსებული მტკნარი წყლის მარაგი (რაც დედამიწის წყლის მარაგის 98% შეადგენს) მცირდება, გრენლანდიის მყინვარული წყლის მარაგი მცირდება 150 კმ³/წ-ში. მხოლოდ გრენლანდიის სრული დადნობა გამოიწვევს მსოფლიო ოკეანის დონის აწევას 7-8 მეტრით. საფრთხეში იმყოფება ყინულები ალპების, პირინეის, ანდების და კავკასიის მთებში, სადაც ტემპერატურის 1°-ით მომატებამ უკვე გამოიწვია მყინვარული ენების დამოკლება 100-150 მ-ით. მსოფლიო ოკეანის დონის აწევა მხოლოდ 1 მ-ით გამოიწვევს მიწების დატბორვას, სადაც ცხოვრობს 150 მლნ ადამიანი. ეს ძირითადად ეხება მდინარეების განგის, კონგოს, ნილოსის, მეკონგის დელტებს, იაპონიას და ევროპის ნაწილს, ასევე შავი ზღვის აღმოსავლეთ სანაპიროს ტერიტორიას –

კოლხეთს. გასაგებია, რა ხარჯები იქნება საჭირო მოსახლეობის უფრო მაღალ ადგილებში გადასახლებადად. ამ მხრივ ციმბირი ყველაზე ხელსაყრელი პირობებით გამოირჩევა.

თანამედროვე ყინულების დნობის ძირითადი მიზეზია დედამიწაზე ტემპერატურის მატება, გამოწვეული ნახშირორჟანგით და მეთანით. ატმოსფეროს დაბინძურების გაზრდით, ასევე ატმოსფეროში სითბური ენერჯის გამოფრქვევით, რაც გამოწვეულია როგორც ანთროპოგენური მოქმედებით, ისე ბუნებრივი პროცესებით (ფულკანები, გეიზერები – მათ მიერ წარმოშობილი სითბო 9-ჯერ მეტია ანთროპოგენურ სითბოზე) და მზის აქტიურობის გაზრდით.

გლობალური დათბობის მიზეზებია აგრეთვე დედამიწის მაგნიტური პოლუსების გადაადგილება, რომელიც შემჩნეულია ასეული წლის წინ. ამის გამო დედამიწის მაგნიტური და გეოგრაფიული პოლუსები უკვე დაშორებულია ერთმანეთისგან 200 კმ-ით.

კლიმატის გლობალურმა ცვლილებებმა უკვე გამოიწვია ქარიშხლების, ქარბორბალების, წყალდიდობების სიძლიერისა და სიხშირის გაზრდა.

დედამიწაზე უკანასკნელი 2 500 ათასი წლის მანძილზე აღინიშნა გამყინვარების და დათბობის რამდენიმე ციკლი [Будыко М.Н., 1980; Кобак К.М., 1992; Марков К.К., 1967; Мирцхулава Ц.Е., 2007; Флинт Р.Ф., 163; Хронология и климат, 1960]. გამყინვარების და დათბობის ხანგრძლივობა სხვადასხვა მონაცემებით განსხვავებულია. უნიფიცირებული სქემის მიხედვით ევროპის და ციმბირის ტერიტორიაზე ეოპლეისტოცენში (250÷2500 ათასი წლის წინათ) აღინიშნება 4-მდე გამყინვარება და 3 გამყინვარებათშორისი ხანა, თითოეული მათგანის ხანგრძლივობით – 280 000 წ.

მეზოპლეისტოცენში (75÷250 ათასი წლის წინ) აღინიშნა ასევე 2 გამყინვარება და, შესაბამისად, 2 გამყინვარებათშორისი ხანა, თითოეული ხანგრძლივობით 45 000 წლამდე.

ნეოპლეისტოცენში (10÷75 ათასი წლის წინ) აღინიშნა 2 გამყინვარება და, შესაბამისად, 2 გამყინვარებათშორისი ხანა, თითოეული 16 000 წლამდე ხანგრძლივობით (ცხრ. 1.2.1).

გამყინვარებისას აღინიშნება მკვეთრი აცივების ფაზები ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში. ეკვატორულ სარტყელში კლიმატი სუსტად იცვლება, მაქსიმალური აცივება შეინიშნებოდა შუა პლეისტოცენში, როდესაც მყინვარების საერთო ფართობი სამჯერ იზრდებოდა.

ანთროპოგენიურ*) პერიოდში მოხდა მნიშვნელოვანი მოვლენა –

*) ტერმინი „ანთროპოგენიური“ იხმარება გეოლოგიური პერიოდის აღნიშვნისათვის, რომელიც უნდა განვასხვავოთ მსგავსი პლურადობის ტერმინისაგან „ანთროპოგენური“, რაც დაკავშირებულია ადამიანის საქმიანობასთან.

ადამიანის გაჩენა. გამყინვარებას თან ახლდა ფლორისა და ფაუნის ცვლილებები, რაც გამოწვეული იყო ტემპერატურის 6-8°-ით შემცირებით (ნახ. 1.2.3). ამასთან, ქვედა სარტყლებში შეინიშნებოდა კლიმატის მნიშვნელოვანი დატენიანება (პლუვიალები). გამყინვარებათშორის პერიოდებში მიმდინარეობდა ზონალობის აღდგენა, ხოლო კლიმატი ხდებოდა თანამედროვეზე თბილიც კი. უკანასკნელი 10 000 წლის მანძილზე (პოლოცენი), რომელიც მიღებულია გამყინვარების შემდგომ ეპოქად, ადგილი ჰქონდა რამდენიმე დათბობას. კლიმატის შედარებით დიდი დათბობა ევროპაში შეინიშნებოდა 6 000 წლის წინ, რის შემდეგ ხდება ერთგვარი აცივება.

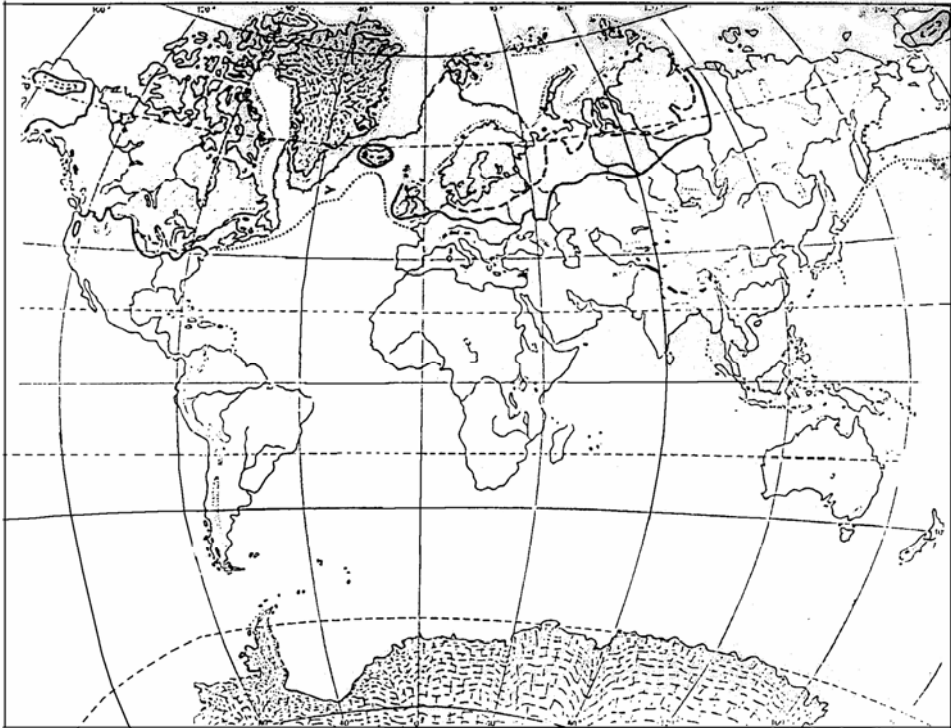
ცხრილი 12.1

კლიმატის გლობალური ცვლილებები დედამიწაზე

ათასი წელი	2500				1000				600				250				75				10		6	
პერიოდი	მეოთხეული (პლეისტოცენი)																პოლოცენი							
ეპოქა	ეოპლეისტოცენი (ქვედა პლეისტოცენი)								მეზოპლეისტოცენი (შუა პლეისტოცენი)				ნეოპლეისტოცენი (ზედა პლეისტოცენი)				თანამედროვე							
გამყინვარების (+) და დათბობის (-) პროცესები	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+

ამრიგად, გამყინვარების თითოეული ციკლის ხანგრძლივობა მცირდება თანამედროვე ეპოქასთან მოახლოებისას (280 000 წ.; 45 000 წ.; 16 000 წ.; 6 000 წ.).

გამყინვარების და გამყინვარებათშორისი ეპოქების კვლევისა და დაზუსტებისას გამოიყენებოდა დანალექი ქანების აბსოლუტური ასაკის მონაცემები. საფუძვლად აღებულია რადიონახშირბადული, ხოლო უფრო შორეული ეპოქისათვის – კალიუმ-არგონული რადიომეტრული გამოკვლევები. მიუხედავად ამისა, რასაკვირველია, ძნელია ობიექტურად იქნეს შეფასებული გამყინვარებები. ბევრი მკვლევარი ასახელებს გამყინვარების განსხვავებულ რიცხვებს, ხოლო ზოგი მათგანი თვლის, რომ იყო ერთი ანთროპოგენიური გამყინვარება, მაგრამ გამყინვარების და გამყინვარებათშორისი ეპოქების არსებობის ფაქტი უდავოა.






ნახ. 12.3. ანთროპოგენიური გამყინვარების რუკა

//// – მყინვარების მდგომარეობა მაქსიმალური გამყინვარების პერიოდში; - - - - ევრაზიასა და ჩრდილოეთ ამერიკაში გამყინვარების გავრცელების საზღვრები შუა პლეისტოცენში; — – ევრაზიასა და ჩრდილოეთ ამერიკაში გამყინვარების გავრცელების საზღვრები ზემო პლეისტოცენში; •••• – მცურავი ყინულების საზღვრები თანამედროვე ეპოქაში.

ამჟამად არსებული ბუნებრივი ზონები წარმოადგენს ბუნებრივი სამყაროს ხანგრძლივი ევოლუციის შედეგს, რაც განპირობებულია კლიმატური და ოროგენეზის ფაქტორებით. კლიმატური პირობებისგან ბუნებრივი ზონების განლაგების დამოკიდებულების შესწავლის ისტორია 100 წელზე მეტს ითვლის. ამ მეცნიერების სათავეებთან უნდა გამოვყოთ ვ.ვ. დოკუჩაევის კვლევები. თბილი ეპოქების მონაცემებზე დაყრდნობით, როდესაც კლიმატი თანამედროვეზე გაცილებით თბილი იყო, შეიძლება ითქვას, რომ მომავალი დათბობისას ეკოსისტემის ცვლილების შესაძლებლობა მნიშვნელოვანია. ასე მაგალითად, 2°-ით დათბობისას კავკასიის მცენარეული ზონების მდებარეობასა და ფართობებში მოხდება მნიშვნელოვანი ცვლილებები (ნახ. 1.2.4).



ნახ. 12.4. ბუნებრივი მცენარეული ზონების განლაგება კავკასიის ტერიტორიაზე დღეს (ა) და 2°C-ით დათბობისას (ბ)

 – სტეპები;
  – ფართოფოთლოვანი ტყე;
  – ნახევარდაბნო;
 XX – უდაბნო;
 /// – წიწვოვანი ტყე;
 \\\ – შერეული ტყე.

კერძოდ, ბორჯომის ხეობაში წიწვოვანი ტყეების ფართობი შემცირდება 3-ჯერ, ამავე დროს ფართოფოთლოვანი ტყეების ფართობი გაიზრდება 10-ჯერ, მათი არეალის გაფართოებით ჩრდილოეთისკენ. რა თქმა უნდა, ეს ცვლილებები მოხდება, თუ ადამიანი არ ჩაერევა დათბობის ან აცივების ბუნებრივ პროცესებში. 2008 წლის რუსეთის აგრესიის გამო განადგურდა 900 კა წიწვოვანი ტყით დაფარული ტერიტორია ბორჯომის ხეობაში, რაც იარაღ დარჩება რამდენიმე ათეული წლის განმავლობაში.

მნიშვნელოვანი ბუნებრივი ცვლილებები, რომლებიც თან ახლავს ნახშირორჟანგისა და მეთანის კონცენტრაციის გაზრდას, მოხდება ჩრდილოეთ ნახევარსფეროს მაღალ განედებში. კავკასიაში, განსაკუთრებით კი კოლხეთის ზონაში, ხელსაყრელი კლიმატური პირობები იქნება ტყეების ზრდისათვის. ამგვარად, კლიმატის მოსალოდნელი ცვლილებები კატასტროფულად არ უნდა აისახოს კავკასიის მცენარეულობაზე.

აცივების ხანაში წყლის მნიშვნელოვანი რაოდენობა იხარჯებოდა მყინვარების წარმოქმნაზე, რომელთა დნობის შემდეგ წყალი ბრუნდებოდა ოკეანეებში და ხდებოდა ზღვის დონის ევსტატიური აწევა. გამყინვარების ხანაში მსოფლიო ოკეანის დონე იკლებდა (120 მ-მდე თანამედროვესთან შედარებით). შავი ზღვის ბედი, ალბათ შერბილუბულია, რადგან იგი დაშორებულია ხმელთაშუა ზღვას ბოსფორის ვიწრო სრუტით, მაგრამ მისი დაბლობები დატბორილი იქნება.

შავ ზღვაზე ამჟამად შეიმჩნევა როგორც რეგრესიის (დონის დაწევა) და ტრანსგრესიის (დონის აწევა) მოვლენები, ისე დედამიწის

ქერქის ტექტონიკური მოძრაობა. რეგრესია ხდება ვარნის ყურეში და ბურგასში. შესაბამისად, კოლხეთთან შეიმჩნევა ტრანსგრესიის მოვლენა, რომელიც შავი ზღვისათვის შეიძლება აიხსნას „თასის“ ეფექტით. დონის ამ რხევების სიდიდე რამდენიმე ათეულ სანტიმეტრს აღწევს.

დედამიწის ქერქში მიმდინარე პროცესები იწვევდა შავი ზღვის სანაპიროს ხმელეთის ჩაძირვას და აწევას. ასე მაგალითად, ქალაქი დიოსკურია, რომელიც ჩვ. წელთაღრიცხვამდე მე-6 საუკუნეში დაარსდა და იარსება 12 საუკუნე, შემდეგ ზღვის დონიდან 4 მ-ის სიღრმეზე აღმოჩნდა. ასეთივე ბედი ეწია ქ. ფაზისს და ახლა ფოთიც თანდათან იძირება.

პოლოცენის პერიოდში უკანასკნელი დათბობა აღინიშნა 6 000 წლის წინათ, რასაც უნდა მოჰყოლოდა აცივება, რომელიც დღემდე უნდა გაგრძელდებოდა. მაგრამ, დედამიწაზე მიმდინარე გლობალური დათბობის ანთროპოგენური გავლენის შედეგად მსოფლიო ოკეანის დონე მატულობს 1,8 მმ/წელიწადში სიჩქარით. თუ ეს პროცესი არ შეჩერდა, მაშინ გლობალური დათბობის შედეგად დამდნარი მყინვარული წყლის მოცულობა მიაღწევს 980 კმ³/წელიწადში. მაშინ დრო, რომლის განმავლობაშიც მყინვარული წყალი (27 მლნ.კმ³) დაფარავს მსოფლიო ოკეანის ზედაპირს და ხმელეთის შესაბამის ნაწილს, იქნება 29 400 წელიწადი. ამასთან, მსოფლიო ოკეანის დონე აიწევს 50 მ-ით!

ადგილი წარმოსადგენია, რომ ზღვის დონის აწევა გამოიწვევს კოლხეთის მდინარეების დელტის და შუა ნაწილის დატბორვას.

ბოლო წლებში საქართველოში შეიმჩნევა გლობალური დათბობით გამოწვეული წყალდიდობები და წყალმოვარდნები, რაც მდინარეების ხარჯების ზრდის ტენდენციის შედეგია: მდ. რიონის დელტაში მაქსიმალური ხარჯები 1991÷2008 წწ. პერიოდში 3-ჯერ გაიზარდა; მდ. ყვირილას დელტაში – 1,7-ჯერ; მდ. კოდორის – 2,2-ჯერ (ცხრ. 1.2.2).

ცხრილი 1.2.2

საქართველოს ზოგიერთი მდინარის მაქსიმალური ხარჯების დინამიკა

მდინარე	წყლის მაქსიმალური ხარჯები (მ ³ /წმ) წლების მიხედვით						
	1940-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2008
რიონი	960÷1930	1490÷3280	1290÷3000	1440÷3520	1590÷4860	2000÷5100	2000÷5500
ყვირილა	239÷644	332÷752	264÷720	294÷735	247÷1100	1100÷1500	1500÷2000
კოდორი	416÷630	430÷893	431÷1080	472÷1550	760÷1400		

საქართველოს მთიან რეგიონებში ზაფხულობით ტემპერატურა შედარებით უფრო მაღალი იქნება და შესაძლოა, აღპური ზონის ქვედა საზღვარმა რამდენადმე აიწიოს.

მაღალმთიან რეგიონებში ტემპერატურის ზრდა შესაძლოა მნიშვნელოვანი აღმოჩნდეს. მთიან რეგიონებში უკანასკნელი ათწლეულების განმავლობაში მყინვარების მოცულობა მნიშვნელოვნად შემცირდა, რაც კავკასიის მყინვარებს აშკარად დაეცო.

მაღალმთიან რეგიონებში თოვლისა და ყინულის რაოდენობას დედამიწის ზედაპირის ტემპერატურა განსაზღვრავს. ცხადია, რაც უფრო მაღალია ტემპერატურა, მით უფრო ინტენსიურია თოვლისა და ყინულის დნობა.

ამრიგად, განხილული საკითხები გლობალური დათბობის შედეგების შესახებ განსაკუთრებით საშიშ პრობლემას წარმოადგენს და დროულ გაანალიზებასა და შეფასებას საჭიროებს.

1.2.2. საქართველოს გეობრაფიული და გეომორფოლოგიური პირობების დახასიათება

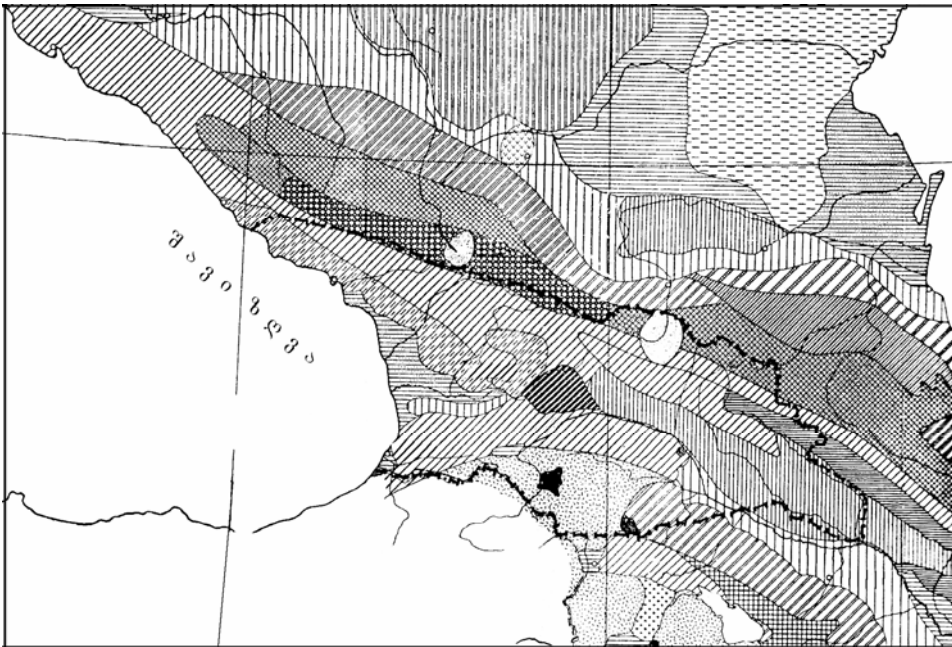
საქართველოს ტერიტორიის 75% მთებს უკავია, 25% – დაბლობებს, რაც განაპირობებს მკვეთრ ვერტიკალურ ზონალობას. საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებულია ალპინოტიპური, ეროზიული მთის საშუალო ზონის, მთათაშორისი ანტიციკლინარული ქედების, ეროზიულ-აკუმულაციური მთისწინა, მანიჩის დეპრესიის და ვულკანური ფორმების გეომორფოლოგიური რაიონები (ნახ. 1.2.5).

ჰიდროგრაფიული ქსელი მთიან რაიონებში განაწილებულია განსხვავებულ კლიმატურ და გეომორფოლოგიურ ზონებში და არაერთგვაროვან გეოლოგიურ ფორმაციებში. ყოველივე ეს განსაზღვრავს წყლის რესურსების ფორმირების თავისებურებებს და ართულებს მათი გამოყენების პირობებს.

წყლის რესურსების გამოყენება გართულებულია წყალსამეურნეო სისტემების მრავალმიზნობრივი დანიშნულების გამო (ირიგაცია, ენერგეტიკა, წყალმომარაგება, რეკრეაცია და ა.შ.) და ასათვისებელი ტერიტორიების ეკოლოგიური მდგრადობის უზრუნველყოფის მოთხოვნებით. მნიშვნელოვან გართულებებს ასევე წარმოშობს ბუნებრივი ფაქტორები: მდინარის ჩამონადენის დიდი სეზონური და მრავალწლიური უთანაბრობა, განსაკუთრებით სამხრეთის მთიანი რეგიონების პირობებში, სადაც წყლის ადიდების პერიოდში ხშირად ჩამოედინება წლიური ჩამონადენის 90%-მდე, და მდინარის ჩამონადენის მოცულობის ცვლილება მნიშვნელოვანია მრავალწლიურ ჭრილში [ი. იორდანიშვილი, კ. იორდანიშვილი, 2008].

განხილულ პირობებში, პრაქტიკულად, ვერ მოხერხდება წყლის რესურსების გამოყენება წყალთა მეურნეობის ვერც ერთ დარგში

(ჰიდროენერგეტიკა, ირიგაცია, წყალმომარაგება და სხვ.) წყალსაცავების მეშვეობით მდინარის ჩამონადენის დარეგულირების გარეშე.



ნახ. 12.5. საქართველოს გეომორფოლოგიური დარაიონების რუკა

- I – მესამეული ასაკის ალპინოტიპური რელიეფის ზონა: 1 – მალაღმთიანი-გლაციოლური ფორმების რელიეფი კემბრიულ სუბსტრაციამდე; 2 – მალაღმთიანი რელიეფი იურის სუბსტრაციამდე ძლიერ განვითარებული ეროზიის პროცესებით; II – მეოთხეული ასაკის საშუალო-მთიანი ეროზიული რელიეფის ზონა; 3 – იზოკლინალური ქედები; 4 – შავი ზღვის სანაპირო ნაკეცი ქედები; 5 – ძლიერ დასერილი ეროზიული ფორმები; III – ზედა მესამეული და ქვედა მეოთხეული ასაკის მთათაშორისი ანტიციკლინური ქედების ზონა; 6 – ანტიკლინური ქედები (მტკვრის დეპრესია); 7 – მთისწინეთის დახრილი ტერასირებული ველები; IV – მეოთხეული ასაკის მთისწინეთის ველების ეროზიულ-აკუმულაციური ზონა; 8 – მთისწინეთის აკუმულაციური ველები (პროლუვიალური); 9 – დელტები; V – ალპური ასაკის ვულკანური ფორმების რელიეფები; 10 – ეფუზიური ვულკანიზმი; 11 – მესამეული ასაკის ვულკანური ფორმების კომპლექსი; 12 – მეოთხეული ასაკის ლავური პლატო.

საქართველოს ფართობი შეადგენს 69,7 ათას კმ²-ს, განფენილობა ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ – 600 კმ. ქვეყანას უკავია კავკასიონის ყელის სამხრეთ-დასავლეთი ნაწილი, წყალგამყოფი ქედით გაყოფილია წყალუზრუნველყოფის მხრივ, ორ განსხვავებულ მხარედ – დასავლეთი და აღმოსავლეთი. კავკასიონის მთებსა და სამხრეთ საქართველოს მაღალ მთიანეთს შორის მოქცეულია ჩაძირვის ზონა, წარმოდგენილი კოლხეთის დაბლობითა და იმერეთის მაღლობით დასავლეთ საქართველოში და ალაზნის ველით – აღმოსავლეთ საქართველოში (ნახ. 1.2.6).

საქართველოს ტერიტორია განსხვავებულია თავისი ტექტონიკური ლაბილურობით და ამ პრინციპით იყოფა ხუთ მსხვილ გეოტექტონიკურ ერთეულად, ხოლო ნეოტექტონიკური პროცესების ხასიათისა და ხანგრძლივობის მიხედვით – ორ მსხვილ სფეროდ – აწევის და ჩაძირვის.

უფრო მეტად სეისმოაქტიურ რაიონებს წარმოადგენს: ჯავახეთის მთიანეთი, ყაზბეგის მიმდებარე რაიონი და დასავლეთ საქართველოს პლეისტოცენისმური რაიონი.

ამ რაიონებში 50 მ-ზე მეტი სიღრმის წყალსაცავების დაპროექტებისას აუცილებლად უნდა იქნეს განხილული წყალსაცავში წყლის მასით გამოწვეული სეისმურობის გამოვლინების შესაძლებლობები.

გეოლოგიურ აგებულებაში მკაფიოდ არის გამოხატული ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ განივი მიმართულებით გაჭიმული და ერთმანეთში მონაცვლე ორი ნაკეციანი სისტემა და დეპრესიის ორი ბელტი, მნიშვნელოვანი განსხვავებებით დანალექების ფაციებში.

რელიეფის ფორმაციები განსაზღვრავს წყალსაცავების მორფომეტრიის სპეციფიკურ თავისებურებებს, კერძოდ: მნიშვნელოვანი სიღრმე წყლის სარკის მცირე ფართობის დროს, ნაპირების ციცაბო ფერდები, წყლის დონის მნიშვნელოვანი მერყეობა წლიურ და სეზონურ ჭრილში.

კლიმატის მხრივ საქართველოს ტერიტორია ხასიათდება დიდი მრავალფეროვნებით: მუდმივოვლიანი და მყინვარულიდან – ნოტიო სუბტროპიკულ და სტეპის კონტინენტალურამდე. ტემპერატურული რეჟიმის ცვლილება დამოკიდებულია არა მარტო მაღლივ მდებარეობაზე, არამედ რელიეფის ფორმაზეც. ჰაერის ტემპერატურის აბსოლუტური მაქსიმუმებიდან საშუალო შეადგენს $+12\pm 40^{\circ}\text{C}$, მინიმუმებიდან – $0\pm 30^{\circ}\text{C}$.

ნალექების განაწილება მერყეობს 300±4000 მმ ფარგლებში და დამოკიდებულია ადგილის სიმაღლესა და ზონალობაზე.

ქარები არაერთგვაროვანია სხვადასხვა ზონებში. ჰაერის მასების საერთო გადაადგილება ხდება დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ.

მთელი საქართველოსათვის, კოლხეთის დაბლობის გამოკლებით, დამახასიათებელია ქარები, რომელთა სიჩქარე 30-40 მ/წმ-ს აღწევს.

ჰიდროგრაფიული ქსელი არათანაბრადაა განვითარებული. უფრო მეტი სიხშირე აღინიშნება დასავლეთ საქართველოში. ჩამონადენის მრავალწლიური განაწილება დამოკიდებულია ვერტიკალურ ზონალობაზე (ნახ. 1.2.7). მდინარეთა წყლიანობა მცირდება დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ, 100 ლ/წმ-დან 2 ლ/წმ-მდე კვადრატულ კილომეტრზე.

რელიეფურ-კლიმატური პირობების მრავალფეროვნება განაპირობებს კვების წყაროების მრავალფეროვნებას და წყალმოვარდნებისა და წყალდიდობების ვადებისა და მოცულობების დიდ სხვაობებს..

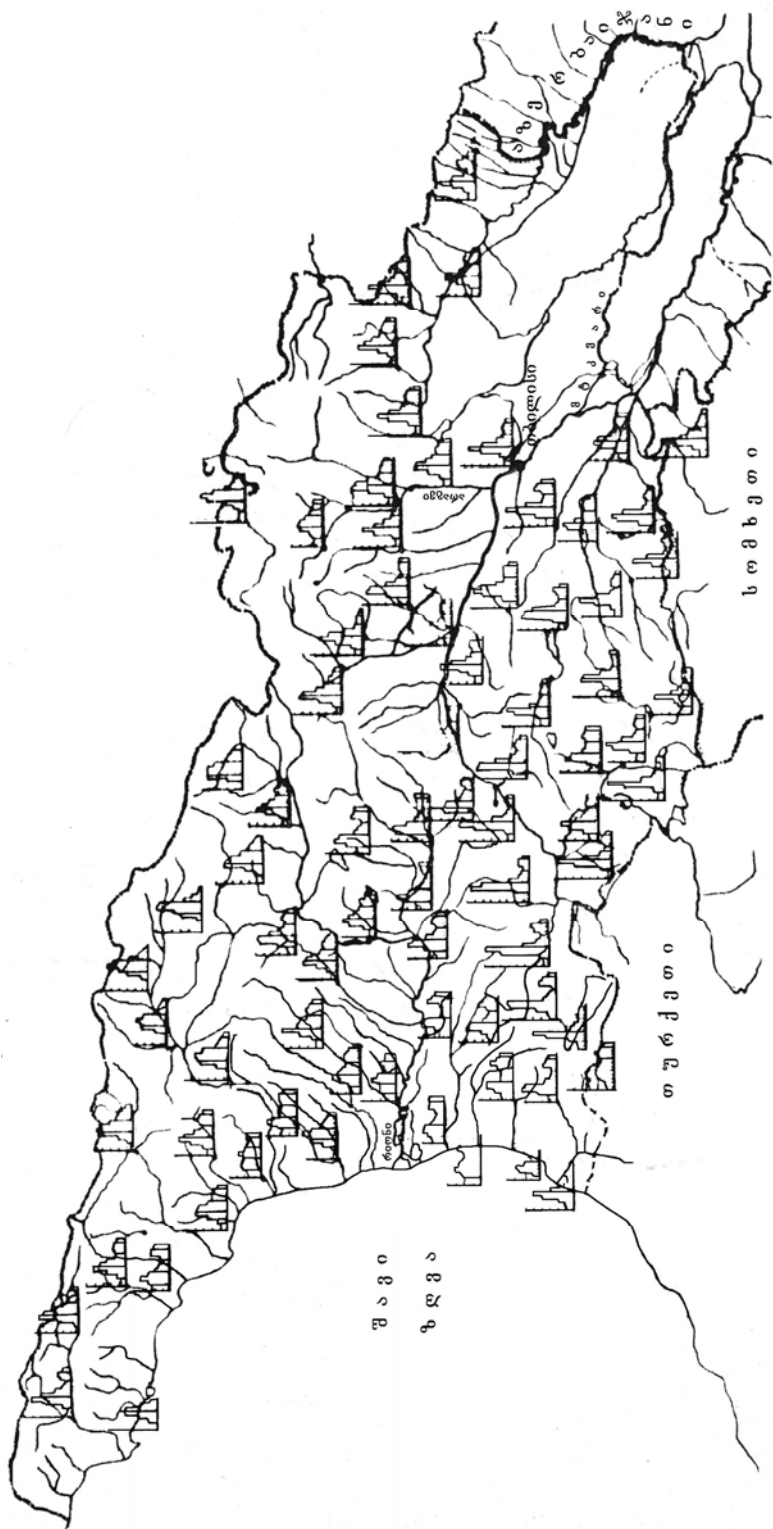
ბალანსური გაანგარიშებების მონაცემებით, დასავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე, სახალხო მეურნეობის განვითარების ყველა დონეზე, როგორც წლიურ, ისე სეზონურ ჭრილში, წყლის დეფიციტი არ არის და არც არის მოსალოდნელი. სახალხო მეურნეობის მოთხოვნილება წყალზე ჭარბად იფარება ბუნებრივი ჩამონადენის ხარჯზე. მაღალი წყალმოთხოვნილების ობიექტების განლაგების რეალური შესაძლებლობა განაპირობებს აქ ენერგეტიკული დანიშნულების წყალსაცავების შექმნის მიზანშეწონილობას.

აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე დაძაბული წყლის ბალანსი და ირიგაციის მზარდი მოთხოვნები აუცილებელს ხდის ჰიდროსისტემების შექმნას, ძირითადად, საირიგაციო დანიშნულების. კომპლექსური სისტემები მოიცავს ენერგეტიკას, ირიგაციას, წყალმომარაგებას, წყალმოვარდნებთან ბრძოლას, მეთევზეობას. წყლის ტრანსპორტისათვის წყალსაცავები არ გამოიყენება. მიწების გაწყლოვანება ივარაუდება მეტად მცირე მოცულობით. წყალსაცავების გამოყენების შესაძლებლობა რეკრეაციისათვის დღემდე არ არის რეალიზებული. ამის მთავარი მიზეზია წაყენებული პირობების უზრუნველყოფის სირთულე წყალსაცავში წყლის დონის მნიშვნელოვანი მერყეობისას, ამისათვის უფრო ხელშემწყობი პირობები იქმნება მრავალწლიური და წლიური რეგულირების წყალსაცავებზე.

საქართველოს წყლის რესურსების ძირითადი თავისებურებაა ჩამონადენის სივრცობრივი არარეგულარობა მდინარეებზე ანთროპოგენური დატვირთვის უთანაბრობის ფონზე.

დასავლეთ საქართველოს წყლის საერთო რესურსები (აფხაზეთისა და აჭარის ჩათვლით) შეადგენს 76,43 კმ³, აღმოსავლეთის – 26,17 კმ³.

საბალანსო გაანგარიშებების მონაცემებით, დასავლეთ საქართველოში წყლის დეფიციტი არ არის. აღმოსავლეთ საქართველო ხასიათდება არიდული პირობებით და საჭიროებს ჩამონადენის დარეგულირებას.



ნახ. 12.7. საქართველოს მდინარეთა ჩამონადენის შიდაწლიური განაწილების სქემა

აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა საშუალო წლიური ჩამონადენი შეადგენს 14,71 კმ³. ამ მხარეში შეინიშნება თითქმის მთლიანი და დაუბრუნებელი წყალმოხმარება. ამასთან, ობიექტების წყალმოხმარება შეადგენს: სამრეწველო საწარმოების – 0,6 კმ³ (მდინარეთა ჩამონადენის 4%), მიწების მორწყვა – 3,53 კმ³ (მდინარეთა ჩამონადენის 23,9%), დაუბრუნებელი წყალმოხმარება შეადგენს 2,28 კმ³ აღებულ ჩამონადენიდან (71,5%) და 15,5%-ს აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა საერთო ჩამონადენიდან. მდ. ალაზნიდან წყლის აღება შეადგენს წლიური ჩამონადენის 85,6%-ს, მდ. ხრამიდან – 68,2%-ს. მდ. იორი თითქმის მთლიანად იხარჯება, წყლის დეფიციტი შეადგენს წლიური ჩამონადენის 30%-ს. ჩამდინარე დაბინძურებული წყლები, მოცულობით 1,6 კმ³, ჩაშვებულია მდ. მტკვარში, რაც შეადგენს გამოსაყენებლად აღებული წყლის 50%-ს. წყლის ნორმალური ხარისხისათვის საჭირო იქნება აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა მთელი მოცულობა. თუ გავითვალისწინებთ, რომ 2010 წლისათვის იგეგმება წყალმოხმარების გაზრდა 5,46 კმ³-მდე, მაშინ დაუბრუნებელი წყალმოხმარება ამ რეგიონში იქნება 4,04 კმ³.

მეურნეობაში გამოყენებული წყლის მოცულობა სინამდვილეში სავარაუდოზე ნაკლებია. ეს აიხსნება სეზონური განაწილების არათანხვდომით სამეურნეო კომპლექსის რეჟიმთან, ამის მკვეთრი გამოვლინება აღინიშნება მდ. მტკვრის აუზში.

წყლის რესურსების ასეთი მდგომარეობა იწვევს რეგიონში წყალ-სამეურნეო ბალანსის დაძაბულობას. ამიტომ აუცილებელია წყალ-სამეურნეო ღონისძიებების გატარება წყლის რესურსების გასაზრდელად. ასეთ ღონისძიებას წარმოადგენს მდინარეთა ჩამონადენის 60-70%-ის შენახვა, რაც სასარგებლო მოცულობის წელიწადში რამდენჯერმე გამოყენების საშუალებას მოგვცემს.

საქართველოს თანამედროვე რელიეფი წარმოადგენს დედამიწის ქერქის მრავალგვარი და ხანგრძლივი დეფორმაციების შედეგს. საქართველოს რელიეფის ყველაზე უფრო მკვეთრი ცვლილებების ეპოქა ემთხვევა მეზოზოური ხანის დასასრულს, ოლიგოცენ-მიოცენს, ზედა მიოცენს და საშუალო და ზედა პლიოცენის საზღვარს.

თანამედროვე მდინარეთა ხეობები წარმოიქმნა ხანგრძლივი დროის განმავლობაში და წარმოადგენს პერიოდული აწვევის და ეროზიული შეჭრის შედეგს, დაახლოებით მიოცენის დასასრულიდან. მიოცენის ბოლოს დაწყებულმა ინტენსიურმა აწვევამ თავის პირველ კულმინაციას შუა პლიოცენში მიაღწია. ამ დროს მთიანი ქედის აწვევის სიჩქარემ იმდენად გაუსწრო დენუდაციის სიჩქარეს, რომ მოხდა მდინარეთა ქსელის ღრმა შეჭრა. აწვევის ახალი იმპულსები ემთხვევა პლიოცენის დასასრულს და ანთროპოგენის დასაწყისს.

ჩაპირვის რაიონში ამობურცული ზედაპირის გამომუშავება გრძელდებოდა ადრეულ მიოცენურ დრომდე და, შესაბამისად, ხეობების შეჭრა მათი ტერასული სერიებით, მოიცავდა მხოლოდ მეოთხეულ პერიოდს. ამიტომ საქართველოს მდინარეთა ხეობებისათვის დამახასიათებელია „ახალგაზრდა“, V-სებური პროფილი, მაღალი და ციცაბო ნაპირებით და მცირე სიგანის ჭალისზედა ტერასებით. წყალსაცავებისათვის გამოყენებული განიერი ადგილები ძირითადად შედგება ფიქალი და თიხნარი ქანებისაგან, რომლებიც ადვილად იშლება. კალაპოტურ წყალსაცავებს უკავია მდინარეთა ხეობების არა მარტო ვიწრო ჭალები, არამედ ტერასების მნიშვნელოვანი ფართობებიც. რელიეფის ფორმაციები განსაზღვრავს წყალსაცავების მორფომეტრიის სპეციფიკურ თავისებურებებს (მნიშვნელოვანი სიღრმე, ნაპირების ციცაბო ფერდები), საექსპლუატაციო რეჟიმს (წყლის დონის მნიშვნელოვანი მერყეობა წლიურ და სეზონურ ჭრილში) და წყალსაცავების ურთიერთქმედებას ბუნებრივ გარემოსთან.

ეს განსხვავებები განაპირობებს წყალსაცავებზე სანაპირო და ფერდობული პროცესების ფორმებისა და ხასიათის მრავალფეროვნებას.

აგებულებისა და ლითოლოგიის თავისებურებებმა განაპირობა საქართველოს ტერიტორიაზე აზონალური ტიპის ლანდშაფტების არსებობა – კარსტული, ვულკანური და თანამედროვე გეომორფოლოგიური პროცესების განვითარება.

ქვეყნის ტერიტორიაზე თანამედროვე გეომორფოლოგიური პროცესები წარმოდგენილია:

- გამოფიტვით და დენუდაციურ-ეროზიული მოქმედებით, რაც დიდი აქტიურობითაა გამორჩეული საქართველოს მთიანი რელიეფის პირობებში;

- მეწყრული პროცესებით (მოქმედი, პოტენციური და დასტაბილურებული მეწყრები), რაც ფართოდაა გავრცელებული ბევრ რაიონში;

- კარსტული პროცესები, რაც ვლინდება მთავარი კავკასიონის ქედის სამხრეთი ფერდის კარბონატულ ქანებში. კარსტული პროცესები განაპირობებს მნიშვნელოვან მიწისქვეშა სიცარიედეების წარმოქმნას და არსებით გავლენას ახდენს წყლის ბალანსზე;

აღნიშნულის გარდა, ვითარდება ღვარცოფული მოვლენები, მყინვარული და პერიგლაციალური პროცესები და სხვ. ამ პროცესების და მოვლენების განვითარებას დიდი მნიშვნელობა აქვს წყალსაცავების ფუნქციონირების ხანგრძლივობისათვის.

13. საქართველოს მთიანი რეგიონების წყალსაცავების ზონის ფორმირება

კომპლექსურ ჰიდრონაგებობას – წყალსაცავს კაშხლით – რომლის მიზანია ხელოვნური წყალსატევის შექმნა წყლის დასაგროვებლად, ჩამონადენის რეგულირება და სარწყავი მიწების „საკომანდო“ სიმაღლის მიღწევა – საქართველოში წინაისტორიული ფესვები აქვს.

ჰიდროგრაფიული ქსელის სიხშირემ და მდებარეობის მთიანმა პირობებმა ისტორიულად განაპირობა მცირეხარჯიანი არხების შექმნა [ი. იორდანიშვილი, 2006; 2008.]

საქართველოში ირიგაციის განვითარება იწყება III ათასწლეულში ჩვ.წ-მდე. საქართველოს ჰიდროგრაფიული ქსელის სიხშირემ განაპირობა მცირეხარჯიანი არხების შექმნა, რაც აადვილებდა მათ გაყვანასა და აღდგენას. აღექსანდრე მაკედონელის ლაშქრობის შემდეგ (IV ს.ჩვ.წ.აღ.) სარწყავი ქსელები განსაკუთრებული ინტენსივობით განვითარდა. როგორც სტრაბონი აღნიშნავდა, მიწები აქ უფრო მეტად ირწყვებოდა, ვიდრე ეგვიპტესა და ბაბილონში (I ს.ჩვ.წ.აღ.).

უძველეს ქართულ თხზულებაში – „მოქცევაჲ ქართლისაჲ“ – მოკლეაა მიმოხილული საქართველოს ისტორიის ერთ-ერთი პერიოდი – აღექსანდრე მაკედონელის ქართლში მოსვლიდან IX საუკუნემდე. მოყვანილია ცნობები ძველ ქართლში ჩატარებული საირიგაციო სამუშაოების შესახებ. კერძოდ, მდინარე ქსნიდან ჯერ კიდევ წინაელენისტურ ხანაში არხის („რუს“) გაყვანისა და ვენახის გაშენების შესახებ. აღექსანდრე მაკედონელმა „დასცა ვენახი და რუმ გამოიღო ქსნით“. IV საუკუნის ამბების გადმოცემისას „მოქცევაჲ ქართლისაჲ“ მიუთითებს ქართლში არხის გაყვანის თაობაზე, რაც ირიგაციის მაღალ განვითარებაზე მეტყველებს.

მელიორაცია განსაკუთრებით განვითარდა თამარ მეფის მეფობის დროს (XII ს.), რასაც შოთა რუსთაველის „ვეფხისტყაოსანიც“ ადასტურებს. მართალია, პოემის სიუჟეტი გაშლილია ისეთ დიდ სივრცეში, რომელიც მოიცავს ინდოეთს, არაბეთს, სპარსეთს (ხვარაზმს) და ჩრდილოეთ ჩინეთს (ხატაეთს) და ავტორის ფანტაზიით შექმნილ გეოგრაფიულ დასახლებებს: მულდაზანზარს (ფრიდონის სამეფო), გულანშაროს ანუ ვაჭართა სამეფოს და ა.შ., მაგრამ ყველგან იგულისხმება საქართველო. პოემაში არაერთხელაა აღწერილი აყვავებული ბაღები და ბაღები, რომლებიც ირწყვება (სტროფი 337):

„ბაღჩა ვნახე უტურფესი ყოვლისავე საღხინოსა;
მფრინველთაგან ხმა ისმოდა უამესი სირინოსა;
მრავლად იყო სარაჯები ვარდის წყლისა იბანოსა.
კარსა ზედა მოჰფარვიდა ფარდაგები ოქსინოსა“.

ამ შემთხვევაში „სარაჯი“ ღარია – მილი ან წყლის აუზი.)*

705-ე სტროფში ავტორი პირდაპირ მიუთითებს მორწყვის აუცილებლობაზე:

„რა სჯობს, რა კაცმან გიშერი ბროლ-ლოდსა თანა ახიოს,
ანუ ბაღს ალვა საროსა ახლო რგოს, მორწყოს, ახიოს,
მისსა სჭვრეტელსა აღხინოს, ვერ-მჭვრეტსა ავაგლახიოს!
ვაი მოყვრისა გაყრილსა, ახი ოს ეყოს, ახი ოს!“

წყლის ფასი მაშინაც იცოდნენ და უფროსილდებოდნენ მას (სტროფი 911):

„სწყუროდეს, წყალსა ვინ დაღვრის კაცი უშმაგო, ცნობილი?
მე თვალთა ჩემთა მით მიკვირს, რად ვარ ცრემლითა ღტობილი!
უწყლობა ჰკლავს და წყალი სდის, აროდეს არ გახმობილი!
ვა, წახდა ვარდი პობილი, ვა, მარგალიტი წყობილი!“

თამარ მეფის დროს შექმნილი არხები დღემდე არსებობს, მათ შორისაა „თამარ მეფის“ არხი გურჯაანის რაიონში. მონღოლთა ურდოებისა (XIII ს.) და შაჰ-აბასის (XVII ს.) თავდასხმების დროს საქართველოში სრულიად განადგურდა ჰიდროტექნიკური ნაგებობანი. ვახტანგ VI-მ (XVIII ს.) ნაწილობრივ აღადგინა დანგრეული არხები – რუსთავის, ურბნისის და ხან-არხი. საქართველოში ცენტრალიზებული ხელისუფლების დასუსტებასთან ერთად სუსტდებოდა და ეცემოდა ჰიდროტექნიკური ნაგებობების განვითარებაც. XIX საუკუნის მეორე ნახევრიდან უკვე შეინიშნება ჰიდრონაგებობათა მშენებლობის შემდგომი განვითარების პერსპექტივა. ინჟინერიის ბოლო მიღწევების საფუძველზე ინგლისელი ინჟინრების ბელის და გაბის პროექტით 1864-1867 წლებში აშენდა მარინის (ახლანდელი გარდაბნის) სარწყავი ქსელი ჯანდარის წყალსაცავის შექმნით, რომელიც მალე დაიღამა. 1957 წელს მოხდა მისი გაწმენდა და მიერთება ახალ სარწყავ საირიგაციო ქსელთან.

1920-1941 წწ. აღდგენილ იქნა და აშენდა მსხვილი საინჟინრო სარწყავი სისტემები: მაშველის (1924 წ.), ტირიფონის (1928 წ.), ალაზნის (1931 წ.), დილომი-I (1928 წ.), სოღანღულის (1936 წ.).

წყალსაცავების შექმნის თანამედროვე ეტაპი დაიწყო მეორე მსოფლიო ომის შემდეგ.

მდინარის ჩამონადენის რეგულირებამ ტრადიციულ ამოცანებთან ერთად, გადაწყვიტა წყალზრუნველყოფის ახალი საირიგაციო სისტემების და ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესების ამოცანები.

*) ალბათ უნდა ვივარაუდოთ, რომ ეს პირველი მითითებაა ხელოვნური წყალსაცავის არსებობაზე საქართველოში (XII ს.).

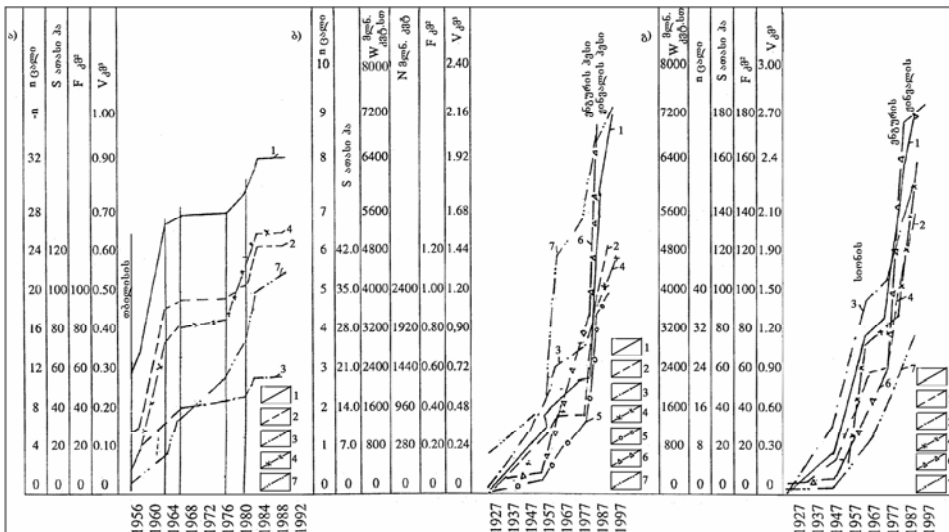
მონაცემები წყალსაცავების შექმნის დინამიკის შესახებ გვიჩვენებს, რომ მათი პარამეტრები (მოცულობა, სარკის ფართობი, სიღრმე, სიგრძე), მთლიანობაში, გასული საუკუნის 90-იანი წლების დასაწყისამდე იზრდებოდა. ეს ხდებოდა ქვეყნის მდინარეთა ათვისების ხარჯზე, მეურნეობისა და მოსახლეობის წყალზე მზარდი მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად.

მეორე მსოფლიო ომის დამთავრების შემდეგ აშენდა აჯამეთის (1948 წ.), ზემო სამგორის (1952 წ.), სალთვისის (1950 წ.), მუხრანის (1958 წ.), ვანათის (1953 წ.), თუზი-ოკამის (1954 წ.), ტაშისკარის (1958 წ.), თელეთის (1962 წ.), წულუკიძე-სამტრედიის (1954 წ.) სარწყავი ქსელები.

მსხვილი წყალსაცავიანი კომპლექსური ჰიდროსისტემების ინტენსიური მშენებლობის დასაწყისი აღინიშნება თბილისის (1952 წ.), შაორის (1954 წ.), ტყიბულის (1956 წ.), გუმათის (1958 წ.) და რიგი სხვა წყალსაცავების მშობრში შეყვანით, რომელთა შორის თავისი უნიკალურობით უნდა აღინიშნოს ისეთი მსხვილი წყალსაცავები, როგორცაა სიონის (1964 წ.), ხრამის (1966 წ.), ჯვრის (1976 წ.), უინვალის (1985 წ.) და სხვ.

1990 წლის შემდეგ საქართველოში შეინიშნება წყალსაცავების შექმნის ტემპების მკვეთრი დაცემა.

ამჟამად საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებულია 51 წყალსაცავი, საერთო მოცულობით 345,7 მლნ მ³, რომელთაგან 32 1 მლნ მ³-ზე მეტი მოცულობისაა (ცხრ. 1.3.1, ნახ. 1.3.1, 1.3.2).



ნახ. 1.3.1. საქართველოს წყალსაცავების ფონდის განვითარების დინამიკა: ა) ირიგაციული; ბ) ენერგეტიკული; გ) საერთო ფონდი; 1 – V_{kr} კმ³; 2 – V_{ssar} კმ³; 3 – F კმ²; 4 – S ათასი ჰა; 5 – N ათასი კვტ; 6 – W მლნ.კვტ.სთ; 7 – n ცალი

საქართველოს წყალსაცავების საერთო საპროექტო მონაცემები,
რომელთა სრული მოცულობა მეტია 1 მლნ.მ³-ზე

42

№ სექციის მოხვედრით	იკლავის დასახელება	საპროექტო	ადგილმდებარეობა (წყალსაცავი ან წყალსაცავი, რომელიც მოიცავს საპროექტო მონაცემებს)	$\frac{V_{სრული}}{V_{საპროექტო}}$ მლნ. მ ³	კაშხლის წყალშემკრების ფართობი, კმ ²	მახვილი შენობის ფართობი, კმ ²	საპროექტო მონაცემების წყლის მოცულობა, მლნ. მ ³	წყალსაცავის ანთროპოგენური ტიპი	წყალსაცავის მოცულობა კასკადში (2000 წლამდე) ან იზოლირებულიად	დანიშნულება საპროექტო მონაცემების მიხედვით	დასახელება საპროექტო მონაცემების მიხედვით	საპროექტო მონაცემების მოცულობა, მლნ. მ ³	საპროექტო მონაცემების მოცულობა, მლნ. მ ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	შავი ზღვის	ჯვრის	წალენჯიხის რ-ნი (მდ. ენგური)	$\frac{1090,0}{670,0}$	$\frac{3170}{80}$	$\frac{1978}{80}$	კალაპოტური	ამიერკავკასიის სისტემაში	ე, მ	თბილისი-როპროექტი	3,0	1,6	
2	შავი ზღვის	გაღის	გაღის რ-ნი (მდ.მდ. ერისწყალი, ენგური)	$\frac{145,0}{26,0}$	169	1972	კალაპოტური	ამიერკავკასიის სისტემაში	ე, წ	თბილისი-როპროექტი	9,0	1,8	
3	შავი ზღვის	შაორის	ამბროლაურის რ-ნი (მდ. დიდი ჭალა)	$\frac{90,0}{87,0}$	$\frac{126}{21}$	$\frac{1955}{80}$	ქვაბულის ტიპის სეზონური	კასკადში	ე, ტ	თბილისი-როპროექტი	7,5	3,0	

ცხრილი 13.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	შავი ზღვის	ლაჯანურის	ცაგერის რ-ნი (მდ. ცხენის-წყალი)	$\frac{24,6}{17,6}$	$\frac{1691}{12}$	$\frac{1960}{გ ა}$	კალაპო-ტური ერთკვირიანი	კასკადში	ე	თბილქიდ-როპროექტი განცალკევებული	$\frac{3,2}{0,45}$
5	შავი ზღვის	გუმათის	წყალტუბოს რ-ნი (მდ. რიონი)	$\frac{39,0}{13,0}$	$\frac{3510}{165}$	$\frac{1958}{გ ა}$	კალაპო-ტური დღე-ღამური	კასკადში	ე	თბილქიდ-როპროექტი განცალკევებული	$\frac{8,0}{0,6}$
6	შავი ზღვის	ვარციხის	წყალტუბოს რ-ნი (მდ.მდ. რიონი, ყვირილა, ხანის წყალი)	$\frac{14,6}{2,4}$	$\frac{8100}{60}$	$\frac{1976}{გ ა}$	კალაპო-ტური დღე-ღამური	კასკადში	ე	თბილქიდ-როპროექტი განცალკევებული	$\frac{4,0}{3,0}$
7	შავი ზღვის	ტყიბულის	ტყიბულის რ-ნი (მდ. ტყიბულა და შაორის ჰესით გადამუშავებული წყალი)	$\frac{84,0}{62,0}$	$\frac{86}{12}$	$\frac{1956}{გ ა}$	კალაპო-ტური სეზონური	კასკადში	$\frac{ე}{ე, თ}$	თბილქიდ-როპროექტი ერთობლივი	$\frac{6,0}{3,7}$
8	შავი ზღვის	კუხის	ხონის რ-ნი (მდ. კუხის წყალი)	$\frac{1,9}{-}$	$\frac{7,8}{12}$	$\frac{1978}{გ ა}$	კალაპო-ტური სეზონური	იზოლირებული	ი	საქწყალპროექტი განცალკევებული	$\frac{1,0}{0,5}$
9	კასპიის ზღვის	ზაჰესი	მცხეთის რ-ნი (მდ. მტკვარი)	$\frac{12,0}{3,0}$	$\frac{20800}{921}$	$\frac{1927}{გ ა ქ}$	კალაპო-ტური დღე-ღამური	კასკადში	ე	თბილქიდ-როპროექტი განცალკევებული	$\frac{8,0}{0,2}$

ცხრილი 13.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	კასპიის ზღვის	ჯანდარის	გარდაბნის რ-ნი	$\frac{52,0}{23,0}$	$\frac{20800}{21}$	$\frac{1967}{გ ა}$	ავსებითი სეზონური	იზოლირებულად	ო, თ	საქწვალ-პროექტი განცალკევებული	$\frac{5,5}{2,8}$
11	კასპიის ზღვის	ზრესის	ახალქალაქის რ-ნი (მდ.მდ. კირხ-ბულაკი, ფარავანი)	$\frac{2,08}{1,28}$	$\frac{20800}{24}$	$\frac{1976}{გ ა}$	ავსებითი სეზონური	იზოლირებულად	ო	საქწვალ-პროექტი განცალკევებული	$\frac{2,0}{1,7}$
12	კასპიის ზღვის	ცხენისის ჭა	ადიგენის რ-ნი (მდ. ზა-ზალოს ხევი)	$\frac{1,5}{1,46}$	$\frac{18}{5}$	$\frac{1969}{გ ა}$	ავსებითი სეზონური	იზოლირებულად	ო	საქწვალ-პროექტი განცალკევებული	$\frac{0,9}{0,4}$
13	კასპიის ზღვის	ნადარბაზევის	გორის რ-ნი (მდ. ლიახვზე, ტირიფონის)	$\frac{8,2}{7,2}$	$\frac{18}{15}$	$\frac{1966}{გ ა}$	ავსებითი სეზონური	იზოლირებულად	ო	საქწვალ-პროექტი განცალკევებული	$\frac{2,0}{1,25}$
14	კასპიის ზღვის	პატარა ლიახვის	ცხინვალის რ-ნი (მდ. პატარა ლიახვი)	$\frac{40,0}{39,0}$	$\frac{268}{45}$	$\frac{1985}{გ ს}$	კალაპოტური სეზონური	იზოლირებულად	ო	საქწვალ-პროექტი განცალკევებული	$\frac{3,65}{0,64}$
15	კასპიის ზღვის	ჟინვალის	დუშეთის რ-ნი (მდ. არაგვი)	$\frac{520,0}{370,0}$	$\frac{1900}{38}$	$\frac{1985}{გ ს}$	კალაპოტური სეზონური	ამიერკავკასიის სისტემაში	მ, მ ს.ს.	თბილქიძე-როპროექტი ერთობლივი	$\frac{12,0}{1,0}$

ცხრილი 13.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
16	კასპიის ზღვის	ნარეკვავის	დუშეთის რ-ნი (მდ. ნარეკვაი)	$\frac{6,8}{5,6}$	$\frac{64}{26}$	$\frac{1978}{გ ა}$	კალაპოტური სეზონური	იზოლირებულად	o	საქვალ-პროექტი განცალკევებული	$\frac{1,5}{0,7}$
17	კასპიის ზღვის	ალგეთის	თეთრიწყაროს რ-ნი (მდ.მდ. მტკვარი, ალგეთი)	$\frac{65,0}{60,0}$	$\frac{322}{-}$	$\frac{1983}{-}$	კალაპოტური მრავალწლიური	იზოლირებულად	o	საქვალ-პროექტი განცალკევებული	$\frac{4,2}{1,2}$
18	კასპიის ზღვის	მარაბდის	თეთრიწყაროს რ-ნი	$\frac{1,2}{0,2}$	$\frac{474}{42}$	$\frac{1964}{გ ა}$	ავსებითი სეზონური	იზოლირებულად	o	საქვალ-პროექტი განცალკევებული	$\frac{0,5}{0,3}$
19	კასპიის ზღვის	ხრამის	წალკის რ-ნი (მდ. ხრამი)	$\frac{312,0}{292,0}$	$\frac{1050}{20}$	$\frac{1947}{გ ა}$	კალაპოტური სეზონური	ამიერკავკასიის სისტემაში	$\frac{ქ}{ქ, o}$	თბილჰიდროპროექტი ერთობლივი	$\frac{14,5}{3,5}$
20	კასპიის ზღვის	მთისძირი	ღმანისის რ-ნი (მდ. მამუთლი-დერე)	$\frac{3,3}{3,1}$	$\frac{1050}{-}$	1981	ავსებითი სეზონური	იზოლირებულად	o	თბილწვალ-პროექტი განცალკევებული	$\frac{1,1}{1,1}$
21	კასპიის ზღვის	პანტიანის	ღმანისის რ-ნი (მდ. მაშავერა)	$\frac{5,36}{5,26}$	$\frac{64}{26}$	$\frac{1978}{გ ა}$	ავსებითი სეზონური	იზოლირებულად	o	თბილწვალ-პროექტი განცალკევებული	$\frac{1,3}{0,55}$

ცხრილი 13.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
22	კასპიის ზღვის	ღმანისის	ღმანისის რ-ნი	$\frac{11,0}{11,0}$	$\frac{64}{66}$	$\frac{1981}{66}$	ავსებითი სეზონური	იზოლირებული	ო	თბილწყალ-პროექტი განცალკევებული	$\frac{1,7}{1,6}$
23	კასპიის ზღვის	კუმისის	გარდაბნის რ-ნი (თელეთის მაგისტრალური არხი)	$\frac{11,0}{4,0}$	$\frac{64}{885}$	$\frac{1964}{-}$	ავსებითი სეზონური	იზოლირებული	ო, თ	საქწყალ-პროექტი განცალკევებული	$\frac{3,1}{2,0}$
24	კასპიის ზღვის	სიონის	თიანეთის რ-ნი (მდ. იორი)	$\frac{325,0}{300,0}$	$\frac{498}{330}$	$\frac{1963}{66}$	კალაპოტური სეზონური	ერთობლივი თბილისის წყალ-საცავთან	ო, კ	საქწყალ-პროექტი ერთობლივი	$\frac{11,5}{2,0}$
25	კასპიის ზღვის	თბილისის	თბილისი (არხი დამატებითი კვებით მდ. იორიდან)	$\frac{308,0}{155,0}$	$\frac{498}{56}$	$\frac{1956}{66}$	ავსებითი, ტბური სეზონური	ერთობლივი თბილისის წყალ-საცავთან	ი, წ, თ	საქწყალ-პროექტი ერთობლივი	$\frac{9,0}{2,0}$
26	კასპიის ზღვის	ჭალის	ყვარლის რ-ნი	$\frac{1,7}{1,4}$	$\frac{498}{0,6}$	$\frac{1968}{66}$	ავსებითი სეზონური	იზოლირებული	ო	საქწყალ-პროექტი განცალკევებული	$\frac{1,6}{0,6}$
27	კასპიის ზღვის	ლაპიანის	ყვარლის რ-ნი (მდ. დურუჯი)	$\frac{3,5}{3,5}$		1971	ავსებითი სეზონური	იზოლირებული	ო	საქწყალ-პროექტი განცალკევებული	$\frac{3,25}{3,25}$

ცხრილი 13.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28	კასპიის ზღვის	ოქტომბრის	ყვარლის რ-ნი (მდ. ფშავის ხევი)	$\frac{1,75}{1,5}$	$\frac{-}{10}$	1976	კალაპო-ტური სეზონური	იზოლი-რეზულად	o	საქვყალ-პროექტი განცალკე-ვებული	$\frac{0,4}{0,5}$
29	კასპიის ზღვის	თელეთ-წყლის	დედოფლის-წყაროს რ-ნი (მდ. იორი)	$\frac{1,6}{1,2}$	1200	1980	კალაპო-ტური სეზონური	იზოლი-რეზულად	o	საქვყალ-პროექტი განცალკე-ვებული	$\frac{0,5}{0,4}$
30	კასპიის ზღვის	კრანჭისხევის	დედოფლის-წყაროს რ-ნი	$\frac{1,26}{0,92}$	$\frac{-}{7}$	$\frac{1982}{გ ა}$	ავსებითი სეზონური	იზოლი-რეზულად	o	საქვყალ-პროექტი განცალკე-ვებული	$\frac{0,5}{0,46}$
31	კასპიის ზღვის	კუშისხევის (ერთობლივად კრანჭისხევის წყ.)	დედოფლისწყაროს რ-ნი (მდ. კუშის ხევი)	$\frac{4,0}{2,17}$	$\frac{90}{30}$	$\frac{1976}{გ ა}$	კალაპო-ტური სეზონური	იზოლი-რეზულად	o	საქვყალ-პროექტი განცალკე-ვებული	$\frac{0,9}{0,4}$
32	კასპიის ზღვის	თავწყაროს	დედოფლისწყაროს რ-ნი (მდ. იორი და ხევის წყლები)	$\frac{3,36}{3,0}$		$\frac{1986}{გ ს}$	სეზონური	იზოლი-რეზულად	o	საქვყალ-პროექტი განცალკე-ვებული	$\frac{1,6}{0,5}$

პირობითი აღნიშვნები: ე – ენერგეტიკა, მ – მორწყვა, წ – წყალმომარაგება, ი – ირიგაცია, თ – სათევზე მეურნეობა, ტ – ტექნიკური წყალმომარაგება, გ ა ქ – გეოდინამიკურად აქტიური წყალსაცავები, გ ა – გეოდინამიკურად არამდგრადი, გ ს – გეოდინამიკურად სტაბილური, ს.ს. – სამეურნეო-სასმელი წყალმომარაგება, მ.ა.ა. – მონაცემები არ არის. (ორი უკანასკნელი პირობითი აღნიშვნა სამართლიანია დანარჩენი ცხრილებისათვისაც).

ცხრილი 14.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5
3	სიონის	0,325	11,40	28,50
4	ხრამის (წაღკის)	0,312	34,00	9,17
5	თბილისის (საპროექტო)	0,308	11,80	26,10
6	გალის	0,145	8,00	18,14
7	ლაკბეს	0,140	ცარიელია	
8	დაღის მთის	0,111	–	–
მცირე < 0,1 კმ ³				
9	ტყიბულის	0,084	11,50	7,30
10	შაორის	0,071	13,20	5,37
11	აღგეთის (ტბისის)	0,065	2,30	28,0
12	ჯანდარის	0,052	12,50	4,16
13	ზონკარის (პატარა ღიახვის)	0,040	1,40	28,60
14	გუმათის	0,039	2,40	16,30
15	ლაჯანურის	0,024	1,40	17,10
16	ვარციხის	0,0146	5,07	2,88
17	ზაჰესი	0,012	2,00	6,00
18	იაკუბლოს (დმანისის)	0,011	2,00	5,00
19	კუმისის	0,011	5,40	16,90
ძალიან მცირე < 0,01 კმ ³				
20	ნადარბაზევის	0,0082	2,00	4,10
21	ნარეკვავის	0,0068	0,56	12,10
22	პანტიანის	0,0053	0,62	9,04
23	კუშისხევის	0,0040	0,65	6,15
24	კუდიგორის (ლაფიანის ყურე)	0,0035	3,00	1,16
25	მთის-ძირის (ღენინო)	0,0033	0,82	4,06
26	ზრესის	0,00208	1,77	1,17
27	კუხის (ახალბედისეული)	0,0019	0,30	2,71
28	ოქტომბრის	0,0017	0,23	7,60
29	ჭაღის	0,0017	0,35	4,85
30	თელეთ-წელის (მწარე წელის)	0,0016	0,14	11,44
31	ცხენისის-ჭა (უდე)	0,0015	0,30	5,00
32	ახაშენის ხევის	0,0015	–	–
33	თავწყაროს	0,0013	0,255	0,57
34	კრანჭისხევის	0,0012	0,27	4,67
35	მარაბდის	0,0012	0,23	5,22

ცხრილი 14.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5
36	ვაკის	0,0012	–	–
37	ასურეთის (ასურეთის ხევის)	0,0010	1,13	0,88
38	ჭერემის (თხილიანის)	0,0010	0,13	7,20
39	ღვეის წყლის	0,00098	–	–
40	ახალბედისეულის (კომკავშირის)	0,0007	0,01	7,0
41	ბორბალოს	0,0006	–	–
42	კუსწყაროს	0,0005	0,012	41,7
43	ხეთაგურის	0,0005	0,003	16,63
44	კრასნოგორსკის	0,00032	–	–
45	უდაბნოს	0,0003	–	–
46	თრიალეთის	0,0003	0,13	2,30
47	ნატაურების	0,00025	0,01	25,0
48	მლაშების	0,0002	–	–
49	ლიბის	0,000176	–	–
50	ბედეთის	0,00016	0,05	3,20
51	შავსაყდრის	0,00014	0,006	2,33
	სულ	3 457,00		

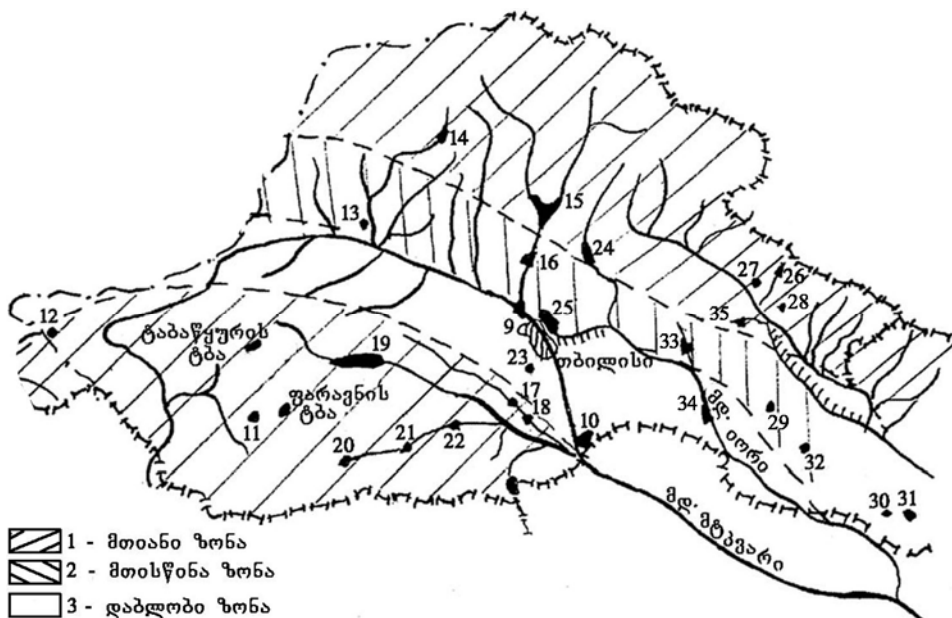
**14.1. აღმოსავლეთ საქართველოს
წყალსაცავიანი სისტემების თავისებურებანი**

აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებულია 43 წყალსაცავი, რომლებიც გამოიყენება, ძირითადად, ირიგაციისა და ენერგეტიკის სფეროში. $V_{სრ} > 1,0$ მლნ.მ³ მოცულობის აღმოსავლეთ საქართველოს წყალსაცავების ძირითადი მაჩვენებლები მოყვანილია ნახაზზე 14.1 და ცხრილებში 14.2, 14.3 [ი. იორდანიშვილი, 2008; 2009].

მთიან და მთისწინა რაიონებში წყალსაცავების ნაპირების მნიშვნელოვანი დაქანება განაპირობებს მოცულობის შექმნას ძირითადად სიღრმის ხარჯზე და წყლის დონის დამუშავების დიდ სისწრაფეს.

ვაკის წყალსაცავები ხასიათდება წყლის ზედაპირის სარკის მნიშვნელოვანი ფართობით, უმნიშვნელო სიღრმით და დამრეცი ნაპირებით.

მთისწინეთის წყალსაცავები ხასიათდება 20 მ-ზე მეტი სიღრმით, მაღალი სანაპირო ფერდობით (დაბლობების წყალსაცავებთან შედარებით).



ნახ. 14.1. აღმოსავლეთ საქართველოს წყალსაცავების განლაგების სქემა ($V_{სრ} > 1$ მლნ.მ³).

(წყალსაცავების დასახელება შეესაბამება მათ ნუმერაციას ცხრილში 14.2)

ცხრილი 14.2

აღმოსავლეთ საქართველოს წყალსაცავების ($V_{სრ} > 1$ მლნ.მ³) მეშვეობით მდინარეების ჩამონადენის დარეგულირების მაჩვენებლები

№ ნახ. 14.1-ის მიხედვით	მდინარის აუზის დასახელება	წყალსაცავის დასახელება	წყალსაცავის მოცულობა, მლნ.მ ³		დარეგულირების მაჩვენებელი		მდინარის ჩამონადენი წყალსაცავის კვეთში, $W_{ჩამონ.}$ მლნ.მ ³
			$V_{სრ}$	$V_{სას}$	$\frac{V_{სრ}}{W_{ჩამონ.}}$	$\frac{V_{სას}}{W_{ჩამონ.}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8
15	მტკვრის	ჟინვალის	520,0	370,0	0,269	0,378	1373,7
24	მტკვრის	სიონის	325,0	290,0	0,877	0,950	342,0
19	მტკვრის	ხრამის	312,0	292,0	0,948	1,01	308,0
25	მტკვრის	თბილისის (საპროექტო)	308,0	160,0	–	–	–
33	მტკვრის	დაღის მთის	140,0	133,0	–	–	–
34	მტკვრის	ლაკბეს	140,0	133,0	–	–	–

ცხრილი 14.2 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8
17	მტკვრის	ალგეთის	65,0	60,0	0,461	0,50	130,0
10	მტკვრის	ჯანდარის	52,0	23,0	–	–	–
14	მტკვრის	ზონკარის (პატარა ლიახვის)	40,3	39,0	0,129	0,132	302,0
9	მტკვრის	ზაჰვის	12,0	3,0	0,00053	0,0021	5610,0
22	მტკვრის	დმანისის	11,0	11,0	–	–	–
23	მტკვრის	კუმისის	11,0	4,0	–	–	–
13	მტკვრის	ნადარბაზვის	7,2	6,2	–	–	–
16	მტკვრის	ნარეკავის	6,8	5,6	–	–	–
21	მტკვრის	პანტიანის	5,3	5,2	–	–	–
31	მტკვრის	კუშისხევის	5,0	4,0	–	–	–
27	მტკვრის	კუდიგორის (ლაფიანის ყურე)	3,6	3,0	–	–	–
32	მტკვრის	თავწეაროს	3,36	3,0	–	–	–
20	მტკვრის	მთისძირის	3,0	2,95	–	–	–
11	მტკვრის	ზრესის	2,08	1,28	–	–	–
30	მტკვრის	კრანჭისხევის	1,92	1,26	–	–	–
28	მტკვრის	ოქტომბრის	1,75	1,5	–	–	–
26	მტკვრის	ჭალის	1,7	1,4	–	–	–
12	მტკვრის	ცხენისის-ჭის	1,53	1,45	–	–	–
29	მტკვრის	თელეთწყელის	1,3	1,1	0,25	0,333	4,8
18	მტკვრის	მარაბდის	1,2	1,2	–	–	–
35	მტკვრის	ჭერემის	1,2	0,92	–	–	–
სულ 27 წყალსაცავი			1 983,0				

ადმოსავლეთ საქართველოს მოქმედი წყალსაცავების
ძირითადი მახასიათებლები

№ ნახ. 14.1-ის მიხედვით	წყალსაცავის დასახელება	წყალსაცავის კუბის წყარო (მდინარე, არხი, მილსადენი)	წყალსაცავებიდან გამყვანი არხების ხარჯი, Q მ ³ /წმ	ექსპლუატაციაში შესვლის წელი	წყალსაცავის მოცულობა, მლნ. მ ³		წყალსაცავების გამოყენების და რეკონსტრუქციის სახეობები
					V _{სრ}	V _{სას}	
1	2	3	4	5	6	7	8
(V _{სრ} = 100÷1000 მლნ.მ ³)							
15	უინგალის	მდ. არაგვი	ქ. თბილისის წყადმომარაგება 11,0	1985	510,0	370,0	ე, ი, ს კომპლექსში თბილისის და სიონის წყალსაცავებთან
24	სიონის	მდ. იორი	ზემო და ქვემო სამგორის მაგ. არხი 9,0	1963	325,0	300,0	ე, ი, თ, რ სეზონური კომპლექსში თბილისის წყალსაცავთან
19	სრამის	მდ. სრამი	–	1949	312,0	292,0	ე, ი სეზონური
25	თბილისის (საპროექტო)	მდ. იორი	ქვემო სამგორის	1956	308,0	155,0	ი, ს, თ, მ სეზონური კომპლექსში
33	დაღის მთის	მდ. იორი	ჭაჭუნა	1992	140,0	120,0	ი სეზონური
17	აღგეთის	მდ. აღგეთი	ტბისი, კუმისი 10,0	1983	65,0	60,0	ი სეზონური
10	ჯანდარის	გარდაბნის არხი	5,0	1957	52,0	23,0	ი სეზონური
14	ზონკარის (პატარა ლიახვის)	მდ. ლიახვი	ტირიფონი 18,0 ვანათი 4,0	1980	40,0	39,0	ი სეზონური

ცხრილი 14.3 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8
23	კუშისის	მდ. ალგეთი	0,5	1964	11,0	4,0	ი სეზონური
22	დმანისის	მდ. დმანისი მდ.მაშვერა	3,0	1981	11,0	1,0	ი სეზონური
13	ნადარბაზევის	სატუმბი სადგურით შეესება	ტირიფონის სარწყავი სის- ტემა 2,8	1966	8,2	7,2	ი სეზონური
(V _{სრ} = 1÷10 მლნ.მ ³)							
16	ნარეკვავის	მდ. ნარე- კვავი	ნარეკვავის სარწყავი სის- ტემა	1978	6,80	5,60	ი სეზონური
21	პანტიანის	არხი მდ. მა- შვერაღან	0,53	1978	5,36	5,26	ი სეზონური
31	კუშისხევის	მდ. კუშის- ხევი, მდ. იორი	1,0	1976	4,00	2,27	ი სეზონური კრანჭის- ხევის წყალთან ერთად
27	კუდიგორის (ლაფიანის ყურე)	მდ. დურუჯი	0,67	1971	3,50	3,50	ი სეზონური
32	თავწყაროს	მილსადენით მდ. იორი- ღან	მექანიკური მორწყვა 1,0	1986	3,36	3,00	ი სეზონური თელეთის წყალთან ერთად
20	მთისძირის	მდ. მამუთ- ლი-დერე	0,4	1981	3,30	3,10	ი სეზონური
11	ზრესის	მდ. კარბუ- ლახი, გა- ჩიანის მაგ. არხი	მექანიკური აწევით მორწყვა	1976	2,08	1,28	ი სეზონური
28	ოქტომბრის	მდ. ფშავისხევი	4,0	1976	1,70	1,40	ი სეზონური

ცხრილი 14.3 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8
29	თელეთწყლის	შევსება სატუმბი სადგურებით მდ. იორი, მდ. მტკვარი	მექანიკური მორწყვა 0,6	1980	1,60	1,20	ი სეზონური თავწაროს წყალთან ერთად
12	ცხენის- ჭის	არხი ზაზალოს ხევიდან	0,67	1969	1,50	1,46	ი სეზონური
35	ჭერემის	მდ. ჭერემის ხევი	0,3	1982	1,30	1,30	ი სეზონური
30	კრანჭისხევის	მდ. კრან- ჭისხევი	მექანიკური მორწყვა 0,5	1982	1,26	0,92	ი სეზონური კუშისხე- ვის წყალ- თან ერთად
18	მარაბდის	მდ. მარაბდა	0,5	1964	1,20	1,20	ი სეზონური

აღნიშვნები: ე – ენერგეტიკა; ი – ირიგაცია; თ – სათევზე მეურნეობა;
ს – სასმელი წყალმომარაგება

მთის წყალსაცავები გამოირჩევა წყლის ზედაპირის სარკის უმნიშვნელო ფართობით და დიდი სიღრმით. წყლის დონის ცვლილებისას სარკის ფართობი უმნიშვნელოდ იცვლება. აღმოსავლეთ საქართველოს წყალსაცავების მორფომეტრული და ჰიფსომეტრული მაჩვენებლების ანალიზის საფუძველზე შეიქმნა კლასიფიკაცია „სამთო ხარისხის“ მიხედვით (ცხრ. 1.4.4).

ცხრილი 14.4

აღმოსავლეთ საქართველოს მოქმედი წყალსაცავების ძირითადი მახასიათებლები

№	წყალსაცავის დასახელება	დონის ნიშნულები		კლიმატური ზონა*)	რელიეფის კოეფიციენტი α
		ნშდ	მმდ		
1	2	3	4	5	6
დაბლობის ზონა – < 400 მ					
1	ჯანდარის	291,50	289,50	$Bs - xa$	0,601
2	ოქტომბრის	341,50	334,50	Cxa	0,541

ცხრილი 14.4 (გაგრძელება)

მთისწინა ზონა – 400÷800 მ					
3	ლაფიანის	429,00	417.00	<i>C x a</i>	0.404
4	ზაპკის	448,00	446.50	<i>C x a</i>	0.358
5	კუმისის	471,35	469.92	<i>C x b</i>	0.320
6	კრანჭისხევის	480,00	477.60	<i>C x b</i>	0.441
7	კუმისხევის	490,00	475.00	<i>C x b</i>	0.459
8	ჭაღის	495,00	487.00	<i>C x a</i>	0.455
9	თბილისის (საპროექტო)	548,00	535.00	<i>B s c x a</i>	0.598
10	მარაბდის	555,00	547.00	<i>B s c x a</i>	0.368
11	თაგვქაროს	616,00	610.00	<i>C x b</i>	0.371
12	თელეთწყლის	720,00	705.00	<i>C x b</i>	0.402
13	ალგეთის	792,50	745.00	<i>C x b</i>	0.349
მთიანი ზონა – 800÷1200 მ					
14	ქინვალის	810,00	770.00	<i>C x b</i>	0.384
15	ნადარბაზუვის	862,00	855.40	<i>B s - c x a</i>	0.344
16	ნარეკვავის	893,80	875.30	<i>B s - c x a</i>	0.320
17	სიონის	1068,00	1014.00	<i>D x b k</i>	0.259
მაღალმთიანი ზონა – > 1200 მ					
18	ზონკარის (პატარა ლიახვის)	1217,00	1167.00	<i>D x b k</i>	0.262
19	ღმანისის	1360,00	1350.00	<i>D x b - B S G</i>	0.361
20	პანტიანის	1368,80	1358.00	<i>D x b - B S a</i>	0.271
21	ხრამის	1512,00	1497.50	<i>D x b - B S G</i>	0.203
22	მთისძირის	1650,00	1644.00	<i>D x b - B S G</i>	0.251
23	ზრესის	1721,82	1721.07	<i>B S G - W b k</i>	0.283

*) *C x a* – ზომიერად ტენიანი ჰავა ზომიერად ცივი ზამთრით და თბილი ზაფხულით; *C x b* – ზომიერად ტენიანი ჰავა ნალექების ორი მინიმუმით წელიწადში; *B s - x a* – ზომიერად თბილი ჰავა; *B s - c x a* – ზომიერად თბილი სტეპური ჰავიდან ზომიერად ტენიანზე გარდამავალი; *D x b k* – ზომიერად ტენიანი ჰავა ცივი ზამთრით და გრილი ზაფხულით; *D x b - B S G* – ზომიერად ტენიანი ჰავიდან მთისწინა სტეპურ ჰავაზე გარდამავალი; *B S G - W b k* – მთისწინა სტეპური ჰავა მცირეთოვლიანი ზამთრით და ხანგრძლივი გრილი ზაფხულით.

რელიეფის α კოეფიციენტის მნიშვნელობები, მიღებული სტატისტიკური გაანგარიშების შედეგად, მოცემულია ცხრ. 14.5-ში.

წყალსაცავების კლასიფიკაცია რელიეფის ტიპის მიხედვით

№	რელიეფის ტიპი	α-ს საშუალო მნიშვნელობა	α-ს ცვლილების ზღვარი	კორელაციის კოეფიციენტი
1	დაბლობი	0,78	1,0±0,6	0,698
2	ტბური *)	0,51	0,6±0,43	0,720
3	მთისწინა	0,37	0,45±0,29	0,485
4	მთიანი	0,27	0,29±0,23	0,636
5	მაღალმთიანი	0,16	< 0,23	0,980

*) ტბური ტიპი არ არის დამოკიდებული ადგილმდებარეობის ნიშნულზე

ძირითადი მორფომეტრული მაჩვენებლების მოცულობის (V მლნ მ³) და სარკის ფართობის (F კმ²) მიხედვით აღმოსავლეთ საქართველოს წყალსაცავები იყოფა ოთხ ჯგუფად: მსხვილი, საშუალო, მცირე და უმცირესი (ცხრ. 14.6).

წყალსაცავების რეჟიმზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ისეთი მორფოლოგიური მახასიათებლები, როგორცაა: წყალსაცავის სიღრმე (d) და მისი ფარდობა წყლის ზედაპირის ფართობთან ($\frac{d}{F} \cdot 10^{-3}$),

წყალსაცავის წაგრძელება, რომელიც წარმოადგენს წყალსაცავის სიგრძის (L) ფარდობას მის საშუალო სიგანესთან ($B_{საშ}$).

დაკვირვებების შედეგად, აღმოსავლეთ საქართველოს წყალსაცავების მორფოლოგიური პირობების სპეციფიკა განისაზღვრება ტალღის გაქანების მცირე სიგრძით, სანაპირო ხაზის დასერილობით და წყალსაცავების კონფიგურაციის განსხვავებით (ცხრ. 14.6, 14.7, 14.8, ნახ. 14.2ა, 14.2ბ).

აღმოსავლეთ საქართველოს წყალსაცავების კლასიფიკაცია გეომორფოლოგიური მაჩვენებლების მიხედვით

№	წყალსაცავის დასახელება	წყალსაცავის კონფიგურაცია	წაგრძელება L/B	დასერილობის კოეფიციენტი $K_{დასერ} = \frac{L_{დასერ}}{L_{მოსახ}}$	მიწების დატბორვა	
					მოცულობის ერთეულზე S კმ ² /V კმ ³	დაწნევის ერთეულზე S კმ ³ /მ
1	2	3	4	5	6	7
ხეობის, დრმაწყლიანი						
1	ჟინვალის	სამფრთიანი, რთული მოხაზულობის	17,40	1,20±1,50	42,3	0,224

ცხრილი 14.6 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7
2	სიონის	გაჭიმული, წაგრძელებული, კაშხლის მონაკვეთზე გაფართოებული	14,40	1,35	39,5	0,187
3	პატარა ლიახვის	წაგრძელებული	9,60	1,08	35,1	0,023
4	აღგეთის	წაგრძელებული, დანაწევრებული ფერდობი	7,64	1,28	38,4	0,034
ქვაბულის, ღრმაწყლიანი						
5	თბილისის (საპროექტო)	მოგრძო, საშუალო სიგანის	9,10	1,32	44,0	0,301
6	ნარეკვაის	ხეობა – ქვაბულის დანაწევრებული ნაპირებით	3,35	1,15	133,0	0,048
ხეობის, საშუალო სიღრმის						
7	ზაჰესის	ვიწრო, წაგრძელებული	8,00	1,06	200,0	0,104
ქვაბულის, საშუალო სიღრმის						
8	ხრამის	მოგრძო, დასერილი	6,04	1,22	109,0	1,360
9	პანტიანის	მსხლისებური	3,73	1,03	183,0	0,033
10	ლაფიანის	წვეთისებური	3,00	1,08	985,0	0,173
11	თავწეაროს	ოვალური	2,50	1,03	151,0	0,027
12	თელეთწყლის	სამფრთიანი	1,53	1,15	100,0	0,064
13	ყუშისხევის	ოვალური, გაჭიმული კალაპოტის განივად	0,26	1,02	186,0	0,042
შერეული (ხეობა-ქვაბულის, წყალმცირე)						
14	მარაბდის	ოვალური, ქვაბულის	3,73	1,02	183,0	0,033
15	კრანჭისხევის	რთული მოხაზულობის, ძლიერ დანაწევრებული ფერდობით	3,60	1,52	246,0	0,022
16	ჭალის	მსხლისებური, ტბისებური	3,33	1,03	236,0	0,040

ცხრილი 14.6 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7
17	ცხენისის-ჭის	მრგვალი, ტბისებური	3,10	1,02	230,0	0,033
18	კუმისის	არასწორი ოვალის, ტბისებური	3,12	1,02	545,3	0,127
19	ჯანდარის	ტბისებური, ოვალური	2,39	1,02	240,3	1,785
20	ნადარბაზევის	ტბისებური, ოვალური	2,00	1,01	280,0	0,200
21	ზრესის	მაღისებური	1,66	1,03	978,0	0,532
22	მთისძირის	ტბისებური, მრგვალი	1,46	1,05	238,0	0,131
23	ოქტომბრის	ოვალური	1,53	1,13	100,0	0,064
24	დმანისის	სამკუთხა	1,06	1,05	181,8	0,173

ცხრილი 14.7

აღმოსავლეთ საქართველოს წყალსაცავების კლასიფიკაცია დონის დამუშავების მიხედვით

№	წყალსაცავის დასახელება	რეგულირების ხასიათი	დონის დამუშავების სიღრმე, მ	დონის გადაადგილების სინქარე, მ/დღე-ღამე		დონის სტაბილიზაციის ხანგრძლივობა, დღე-ღამე	
				$V_{აწვევა}$	$V_{ნამოწვევა}$	ნმდ [*]	მმდ [*]
1	2	3	4	5	6	7	8
ინტენსიური დამუშავების წყალსაცავები ($A = 100 \pm 50$ მ)							
1	სიონის	სეზონური	54.0	0.19	0.16	60	–
2	პატარა ლიახვის	სეზონური	50.0	0.58	1.09	–	–
სწრაფი დამუშავების წყალსაცავები ($A = 15 \pm 45$ მ)							
3	სიონის	სეზონური	54.0	0.19	0.16	60	–
4	აღგეთის	მრავალწლიანი	47.5	–	–	–	–
5	ჟინვალის	სეზონური	40.0	0.40	0.06	61	30
6	ნარეკვავის	სეზონური	18.0	–	–	–	–
7	თბილისის (საპროექტო)	სეზონური	15.0	0.8	0.07	31	31
8	კუმისხევის	სეზონური	15.0	–	–	–	–
9	თელეთწყლის	სეზონური	15.0	–	–	–	–

ცხრილი 14.7 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8
საშუალო დამუშავების წყალსაცავები ($A = 6 \div 15$ მ)							
10	ხრამის	სეზონური	14.5	0.06	0.05	–	–
11	პანტიანის	სეზონური	13.8	–	–	–	–
12	ლაფიანის	სეზონური	12.0	–	–	–	–
13	დმანისის	სეზონური	9.5	–	–	–	–
14	ცხენისის-ჭის	სეზონური	8.5	–	–	–	–
15	მარაბდის	სეზონური	8.0	0.03	0.06	–	20
16	ჭალის	სეზონური	7.2	–	–	–	–
17	ოქტომბრის	სეზონური	7.0	–	–	–	–
18	ნადარბაზვეის	სეზონური	6.6	–	–	–	–
19	თავწყაროს	სეზონური	6.6	–	–	–	–
კვახისტაბილური წყალსაცავები ($A < 6.0$ მ)							
20	მთისძირის	სეზონური	5.8	–	–	–	–
21	კრანჭისხევის	სეზონური	2.4	–	–	–	–
22	ჯანდარის	სეზონური	2.0	–	–	–	–
23	ზაპესის	სადღეღამისო	1.5	–	–	–	–
24	კუმისის	სეზონური	1.45	–	–	–	–
25	ზრესის	სეზონური	0.67	–	–	–	–

ცხრილი 14.8

**აღმოსავლეთ საქართველოს წყალსაცავების კლასიფიკაცია
ღონის დამუშავების მიხედვით**

№	წყალსაცავის დასახელება	სიღრმე, d , მ		მორფოლოგიური მაჩვენებელი $d/F \cdot 10^{-3}$	მოცულობის ნამატი 1 მ სიღრმეზე $V_{სრ}/d$ მლნ.მ ³
		$d_{მაქს}$	$d_{მინ}$		
1	2	3	4	5	6
ღრმა ($d = 100 \div 40$ მ)					
1	ჟინვალის	98,0	50,0	0,22	5,30
2	აღგეთის	72,5	28,2	0,35	0,89
3	სიონის	68,6	31,4	0,086	4,73
4	პატარა ღიახვის	62,0	29,0	0,60	0,64
5	თბილისის (საპროექტო)	45,0	26,2	0,12	6,84
6	ნარეკავის	40,3	18,8	0,60	0,16

ცხრილი 14.8 (გაგრძელება)

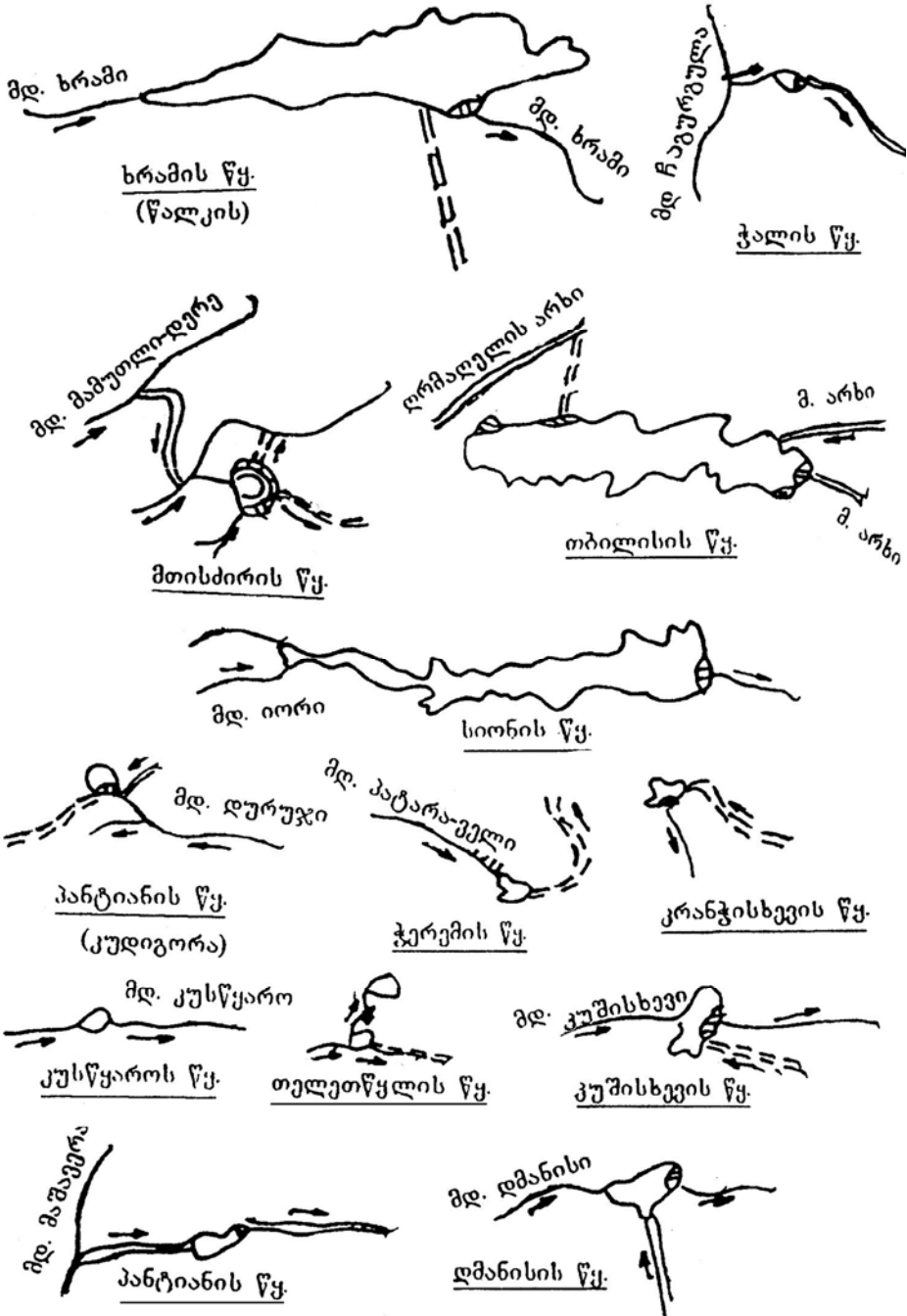
1	2	3	4	5	6
საშუალო სიღრმის ($d = 40 \pm 20$ მ)					
7	ხრამის	25,0	9,3	0,0057	12,48
8	თელეთწყლის	25,0	12,0	1,030	0,06
9	ზაპკისის	23,0	14,0	0,007	0,52
10	თავწყაროს	22,4	6,5	0,165	0,04
11	ლაფიანის	20,0	12,0	0,048	0,17
მცირე სიღრმის ($d = 20 \pm 10$ მ)					
12	კუშისხევის	18,0	7,0	0,075	0,22
13	პანტიანის	15,0	10,0	0,16	0,36
14	კრანჭისხევის	14,0	8,0	0,24	0,09
15	დმანისის	11,5	5,6	0,016	0,95
16	ნადარბაზევის	11,0	7,0	0,025	0,74
17	ცხენისის-ჭის	10,5	5,9	0,12	0,14
18	ჭაღის	10,0	6,0	0,10	0,17
უმცირესი სიღრმის ($d < 10$ მ)					
19	მარაბდის	8,0	4,0	0,070	0,15
20	მთისძირის	7,2	3,7	0,017	0,46
21	ჯანდარის	7,0	4,6	0,0017	7,42
22	ოქტომბრის	8,5	4,2	0,077	0,21
23	კუმისის	4,7	2,0	0,0007	2,34
24	ზრესის	3,8	1,8	0,0006	0,54

მთიანი რეგიონების ბუნებრივი პირობები განაპირობებს წყალსაცავებში მიმდინარე პროცესების თავისებურებებს, რომელთა შორის მნიშვნელოვანია ჩამონადენის რეგულირების რეჟიმი, წყლის ბალანსი, წყლის დონის რეჟიმი, წყალმიმოცვლა, დინება, ღელვა.

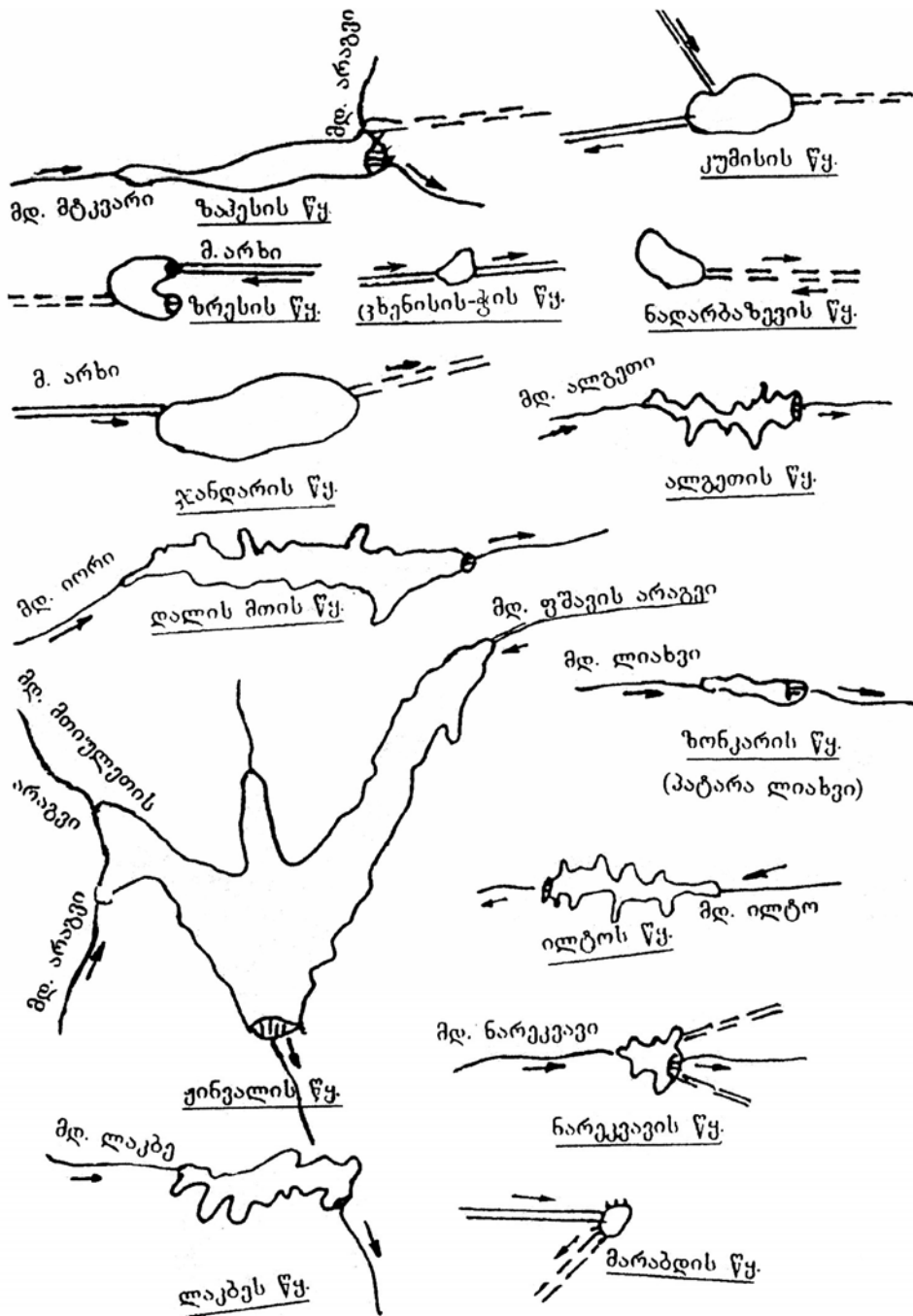
მთიან რეგიონებში, როგორც წესი, იქმნება სეზონური და წლიური რეგულირების შედარებით საშუალო ზომის წყალსაცავები.

ჩამონადენის გამოყენების კოეფიციენტის მნიშვნელობა მსხვილ ენერგეტიკულ წყალსაცავებში შედარებით დიდია ($>0,9$), ხოლო ირიგაციულ წყალსაცავებში $<0,9$, რაც გამოწვეულია მცირე მოცულობით (ცხრ. 14.9).

მთიანეთის წყალსაცავების წყლის ბალანსი გამოირჩევა წყლის შემოსული და დახარჯული ნაწილების ფარდობის დინამიკით. წყლის ბალანსის თავისებურება ასახავს ბუნებრივი და ანთროპოგენური ფაქტორების რთულ ურთიერთქმედებას და ჩამონადენის რეგულირების ხასიათს.



ნახ. 142ა. აღმოსავლეთ საქართველოს წყალსაცავების ფორმა
 (თანაფარდობით მასშტაბში)
 (— — მდინარე; == — არხი; === — წყალსადენი, წყალსაგდები,
 წყალმიმღები და ა.შ.)



ნახ. 14.2ბ. აღმოსავლეთ საქართველოს წყალსაცავების ფორმა (თანაფარდობით მასშტაბში)

(— მდინარე; == არხი; === წყალსადენი, წყალსაგდები, წყალმიმღები და ა.შ.)

ცხრილი 14.9

აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიიდან წყლის ჩამონადენის დარეგულირების მახასიათებლები და წყალსაცავების გამოყენება

№	წყალსაცავის დასახელება	წყალსაცავის მოცულობა მლნ.მ ³		წყალსაცავის მოცულობა, ჩამონადენის მოცულობა, მლნ.მ ³ , $W_{\text{ჩამონ.}}$, 50%	დარეგულირების მახასიათებელი		სასარგებლო წყალგაცემა (W)		ჩამონადენის გამოყენების კოეფიციენტი $\frac{W_{\text{მოხმ.}}}{W_{\text{ჩამონ.}}}$
		სრული, $V_{\text{სრ}}$	სასარგებლო, $V_{\text{სახ}}$		$\frac{V_{\text{სრ}}}{W_{\text{ჩამონ.}}}$	$\frac{V_{\text{სახ}}}{W_{\text{ჩამონ.}}}$	წლიური მოცულობა, მლნ.მ ³	უზრუნველყოფა, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
მდ. მტკვრის აუზი									
1	ჟინვალის (მდ. არაგვი)	520,0	370,0	1373,7	0,378	0,269	1373,7	50	0,983
2	თბილისის (მდ. იორი)	308,0	155,0				172,5	50	
3	სიონის (მდ. იორი)	325,0	300,0	342,0	0,95	0,877	333,6	50	
4	დაღის მთის (მდ. იორი)	140,0	120,0				110,0	50	
5	თელეთწყლის (მდ. იორი)	1,6	1,2	4,8	0,333	0,25	4,75	50	
	მდ. იორის აუზში (სულ)	771,6	576,2				1994,5	50	
6	აღგეთის (მდ. აღგეთი)	65,0	60,0	130,0	0,50	0,461	59,7	50	0,459
7	მარაბდის (მდ. აღგეთი)	1,2	0,2	2,0	0,60	0,100	1,6	50	0,800
	მდ. აღგეთის აუზში (სულ)	66,2	60,2	132,0	0,509	0,463	61,3	50	0,472
8	ზონკარის (მდ. პატარა ლიახვი)	40,0	39,0	302,4	0,132	0,129	105,0	50	0,347
9	ზაპვის (მდ. მტკვარი)	12,0	3,0	5610,0	0,0021	0,00053	4220,1	50	0,752
10	დმანისის (მდ. დმანისი)	11,0	11,0				14,8	50	
11	ლაპიანის (მდ. დურუჯი)	3,5	3,5				4,75	50	

აღმოსავლეთ საქართველოს წყალსაცავები, ძირითადად, განლაგებულია მდ. მტკვრის აუზში.

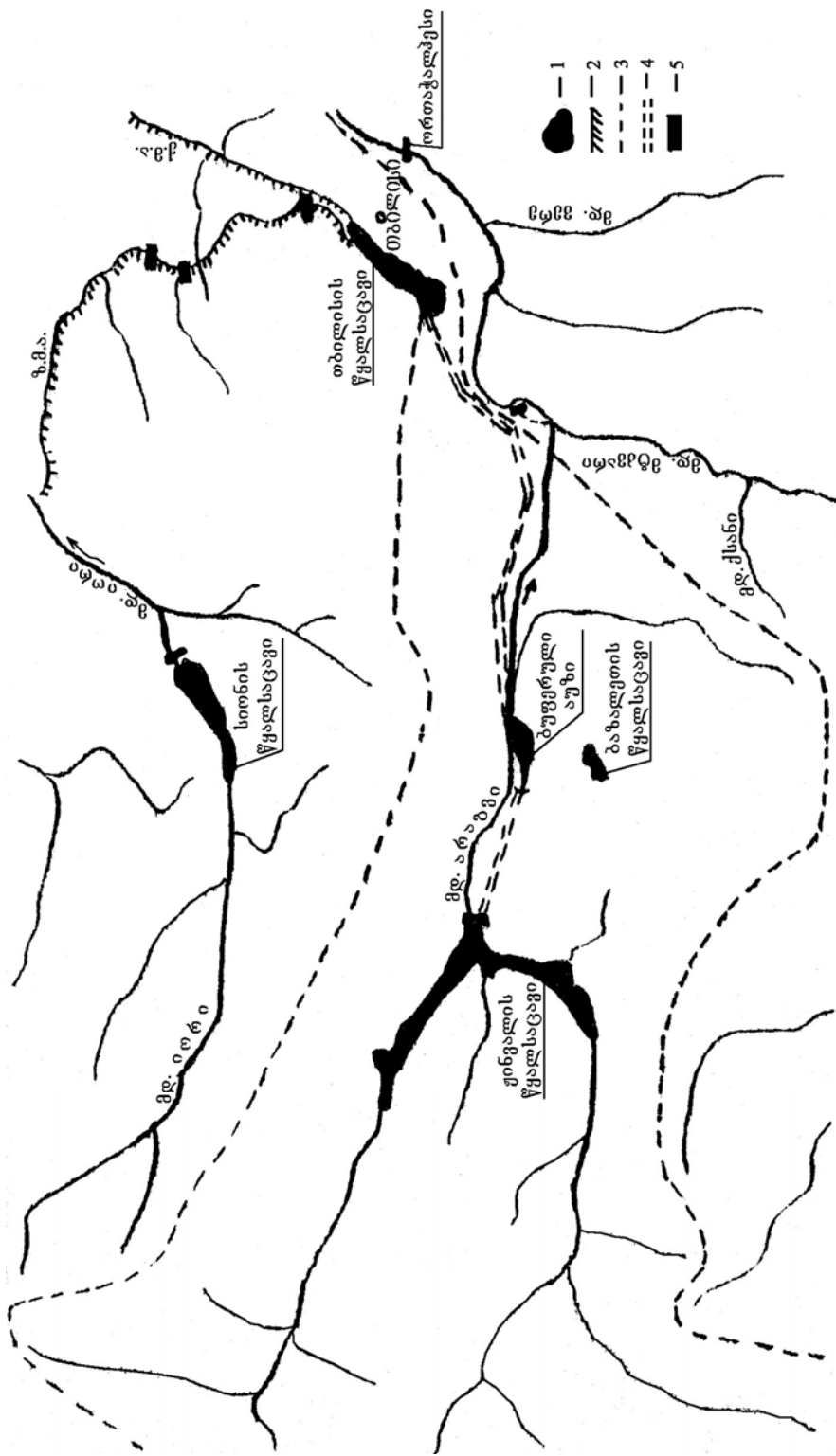
მდ. მტკვრის აუზს საქართველოს ფარგლებში უკავია 44,12 ათ. კმ². აუზში 7194 მდინარეა, რომელთა საერთო სიგრძეა 23511 კმ. აუზში ერთი დიდი (მდ. მტკვარი), ხუთი საშუალო (მდ. ალაზანი, იორი, ხრამი, ალგეთი და დიდი ლიახვი) და დანარჩენი – მცირე მდინარეებია. ამ მდინარეების საერთო ჩამონადენი 15,74 კმ³-ია, რაც ქვეყნის მდინარეთა ჩამონადენის 24,7%-ია. აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე 43 წყალსაცავია, რომელთა საერთო მოცულობა 1,983 კმ³-ია, წყლის ზედაპირის ფართობი – 115,85 კმ². მდ. მტკვრის კალაპოტში მდებარეობს ერთი (ზაჰესის) წყალსაცავი, ორი – ტბების ტაფობში, ხოლო დანარჩენი განლაგებულია მდინარეების შენაკადებზე.

მდ. იორის აუზი მოიცავს 5 წყალსაცავს: სამი საშუალო – თბილისის, სიონის და დაღის მთის, საერთო მოცულობით 773 მლნ.მ³ და ორი მცირე – კუმისხევისა და კრანჭისხევის – საერთო მოცულობით 5,3 მლნ.მ³. მდინარის აუზი განლაგებულია მთავარი კავკასიონის ქედზე და იორის ზეგანზე. აუზი წყლის რესურსებით დეფიციტურია. წყლის რესურსების ძირითადი მომთხოვნია ირიგაცია. აუზი მთლიანად დარეგულირებულია წყალსაცავებით. სიტუაციის გამოსწორება მოხერხდა ჟინვალის წყალსაცავის მეშვეობით.

სიონის წყალსაცავი (ნახ. 1.4.3) წარმოადგენს სამგორის სარწყავი სისტემის პირველ საფეხურს. ის დაპროექტებულია წყლის წლიური ჩამონადენის რეგულირებით და უზრუნველყოფს სარწყავი წყლით სამგორის ხეობას და ოთხი მცირე ჰესის კასკადს. წყალსაცავი მდებარეობს თიანეთის რაიონში, მდ. იორზე და მთა სიონთან, მდ. მტკვრიდან 260 კმ. წყალსაცავის უბანში მდინარის ხეობა ტრაპეციული ფორმისაა, სიგანით 0,8-2,0 კმ, კალთების დახრილობა 8÷40°, დასერილია მრავალრიცხოვანი გვერდითი შენაკადით და მშრალი ხევებით, რომელთაც გამოაქვს ნამსხვრევი მასალის დიდი რაოდენობა.

მდ. იორის ყველაზე დიდი წლიური ხარჯი კაშხლის კვეთში არის 400 მ³/წმ, წყალდიდობისას წყლის მოცულობაა 25 მლნ მ³, ნატანის საშუალო წლიური ხარჯი – 14,6 კგ/წმ, 1%-იანი უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯი – 820 მ³/წმ.

წყალსაცავის ქვაბულის ფორმირებაში მონაწილეობს ტექტონური და მდინარის ეროზიულ-აკუმულაციური პროცესები. მარჯვენა ნაპირი დამრეცია, კლდოვანი, ძლიერი დელუვიალური საფარით, ძველი და ახალი მეწყრული მოვლენებით. მარცხენა ნაპირი აგებულია მძლავრი კენჭოვან-კაჭარიანი პროლუვიით.



ნახ. 14.3. სიონის, თბილისის და ვინგალის წყალსაცავების ერთობლივი ფუნქციონირების სქემა
 1 - წყალსაცავები; 2 - არხები; 3 - მდინარეთა აუზების წყალგამყოფი; 4 - წყალსატარები; 5 - პესი

გეოლოგიურ აგებულებაში მონაწილეობს ასაკოვანი და გენეზისის ქანები: ქვედა ცარცული კირქვა, ეოცენის კვიშნარი, მეოთხეული კონგლომერატები. თანამედროვე დანალექების სიმძლავრე მერყეობს 1-დან 40-მდე.

წყალსაცავი კალაპოტური ტიპისაა, მიწის კაშხლის სიმაღლე 96 მ. წყლის აღება ენერგეტიკისა ($Q = 23$ მ³/წ) და ირიგაციისათვის ($Q = 24$ მ³/წ) წარმოებს წყალსაცავის მარცხენა ნაპირიდან, სიღრმული წყალმიმღებით. წყალსაცავის სიგრძეა 11,5 კმ; სიგანე, საშუალოდ – 0,8 კმ; მაქსიმალური – 2 კმ; საშუალო სიღრმე – 31,4 მ; მაქსიმალური – 68,6 მ.

დონური რეჟიმი გამოირჩევა წლიური ციკლურობით, შემოდგომის მინიმუმით და გვიანი გაზაფხულის მაქსიმუმით. წყლის დონის ამპლიტუდა 55 მ-ია.

ქარის რეჟიმი გამოირჩევა ქარის ძალისა და მიმართულების ძლიერი ცვლილებით. ქარის მაქსიმალური სიჩქარეა 26-28 მ/წმ, შტილის პროცენტი – 37%.

ტალღები ვითარდება დასავლეთ და სამხრეთ-აღმოსავლეთ მიმართულებით. ტალღის მაქსიმალური სიმაღლე 1,34-1,5 მ-ია. 50% განმეორადობის ტალღის სიმაღლე – 0,6-0,7 მ. ჰესის საანგარიშო დაწნევა – 26-27 მ. ჰესის გაჩერებისას ირიგაციული გაშვება სრულდება სპეციალური წყალგამშვები გვირაბის საშუალებით.

თბილისის წყალსაცავი წარმოადგენს ძირითად კვანძს ზემო სამგორის სარწყავი სისტემის ნაგებობათა კომპლექსში. წყალსაცავი შესავსები ტიპისაა, შექმნილია სამი მარილიანი ტბის ბაზაზე და იკვებება მდ. იორის ზემო სამგორის მაგისტრალური არხით – ხარჯი – 130 მ³/წმ და ჟინვალის წყალსაცავიდან – ხარჯი – 9,8 მ³/წმ.

ტბების ქვაბულებით წარმოქმნილი ღრმული გაჭიმულია ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ, 8 კმ სიგრძის და 2 კმ-მდე სიგანის, მაქსიმალური სიღრმე – 45 მ, საშუალო – 26 მ. მისი ფსკერი შევსებულია დელუვიალურ-პროლუვიალური დანალექებით, წარმოდგენილია თიხით და შემოსაზღვრულია ბრტყელი ტერასისებრი შემაღლებებით.

წყალსაცავის საპროექტო სრული მოცულობა 308,0 მლნ მ³-ია, სასარგებლო მოცულობა – 155 მლნ მ³. გასული საუკუნის 70-იან წლებში განვითარებული უარყოფითი მოვლენების გამო (წყლის ფილტრაცია ორი ბეტონის კაშხლის პერიმეტრიდან და თბილისის საცხოვრებელი რაიონის (თმქ) დატბორვა) წყლის დონე შეამცირეს 10,0 მეტრით – 548,0 მ-დან 538,0 მ-მდე. წყალსაცავის მაქსიმალური სრული მოცულობა შემცირდა და შეადგენს 215,0 მლნ მ³-ს, ხოლო სასარგებლო – 65,5 მლნ მ³-ს.

წყალსაცავი შექმნილია ღრმულში 9 და 12 მ სიმაღლის ორი

ბეტონის კაშხლით და 10 და 12 მ სიმაღლის ორი მიწის კაშხლით.

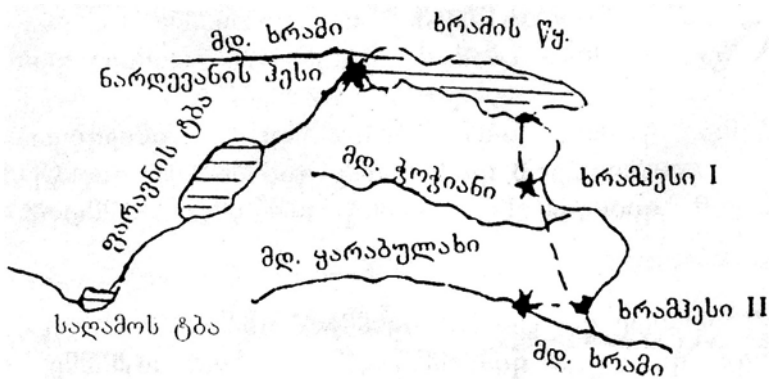
წყალსაცავის ტაფობის გეოლოგიურ აგებულებაში მონაწილეობს ქვიშნარები და მესამეული ასაკის ფიქალისებრი თიხები. მისი სამხრეთი ნაწილი დაფარულია მეოთხეული დანალექებით. ჩრდილოეთ ნაწილში, ზედაპირთან ახლოს, კარსტული ქანებია. ძირითადი ქანები წარმოდგენილია ქვიშნარებით და არგილიტებისა და ალკერიტების ქანებით.

ღონური რეჟიმი არასტაციონარულია. დამუშავების სიღრმეა 13 მ. ქარისმიერი ღელვა მიმართულია წყალსაცავის დიაგონალის გასწვრივ. ქარის სიჩქარე 23-34 მ/წმ-ია, უზრუნველყოფა – 2,55%, ტალღის სიმაღლე – 1,2-1,4 მ. ღელვა გამოირჩევა ძლიერ არარეგულარობით.

წყალსაცავი ძირითადად გამოიყენება საირიგაციოდ. ქვედა სარწყავ მაგისტრალურ არხში წყლის აღება ხორციელდება წყალსაცავის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში, კოშკურა ტიპის წყალმიმღებით. ამავე რაიონში ხდება წყლის აღება თბილისისა და რუსთავის წყალმომარაგებისათვის.

მდ. ხრამის აუზი მდებარეობს სეზონური თვალსაზრისით წყლის დაძაბული ბალანსის რაიონში. ძირითადი მომხმარებელია სოფლის მეურნეობა, ძირითადად, მარნეულის რაიონი (53%).

აუზი მოიცავს 4 საირიგაციო წყალსაცავს მდ. ხრამის შენაკადზე მდ. მაშავერაზე (დმანისის, პანტიანის, ბარბალოს, მთისძირის – საერთო მოცულობით 19,72 მლნ მ³) და ერთ ენერგეტიკულს – ხრამის წყალსაცავი, მოცულობით 312,0 მლნ მ³. ხრამის (წალკის) წყალსაცავი წარმოადგენს ხრამქესი-1-სა და ხრამქესი-2-ის კასკადის ძირითად ნაგებობას. ხრამის წყალსაცავიდან გამოსული გაფილტრული წყალი ამუშავებს დაშბაშის მცირე ჰესს, მისი სიმძლავრე 224 000 კვტ-ია (ნახ. 1.4.4). ბოლო წლებში ენერგეტიკული გამოყენების გარდა, წყალსაცავიდან ხდება წყლის იძულებითი გამოშვება მეღიორაციული მიზნებისათვის.



ნახ. 1.4.4. მდ. ხრამის გამოყენების სქემა

ხრამის (წალკის) წყალსაცავი იყენებს მდ. ქცია-ხრამის ზედა და შუა დინებებს. სათავე მდებარეობს მისი მდ. მტკვართან შერთვის ადგილიდან 117 კმ-ზე (ნახ. 14.4). წყალსაცავის რაიონში ხეობის სიგანე 0,7-0,8 კმ-ია. მდინარის საშუალო წლიური ხარჯი კაშხლის კვეთში 9,78 მ³/წმ-ია, მაქსიმალური – 208 მ³/წმ, მას უკავია წალკის ქვაბული.

წყალსაცავი მაღალმთიანია, კალაპოტური, სანაპირო კალთების დახრილობა 5°-დან 90°-მდეა, სიგრძე – 14,5 კმ, საშუალო სიგანე – 2,4 კმ, მაქსიმალური – 3,5 კი, საშუალო სიღრმე – 9,3 მ, მაქსიმალური – 25 მ.

წყალსაცავის რაიონი ხასიათდება მკაცრი კლიმატით, წლიური ტემპერატურა მერყეობს +26°-დან -30°-მდე. ყინულოვანი ფენის სისქე 18-25 სმ-ია, მისი ხანგრძლივობა – 2-3 თვე.

დონური რეჟიმი განისაზღვრება პეისის მუშაობით: დონის დამუშავება აღწევს 14,5 მ-ს (პროექტის მიხედვით). წყლის დონის გადაადგილების სიჩქარე აღწევს 1-6 სმ/დღე-ღამეში.

ქარის რეჟიმი გამოირჩევა დიდი ცვლილებებით. ქარის მაქსიმალური სიჩქარეა 35 მ/წმ, მაქსიმალური განმეორებითობისაა ჩრდილო რუბების ქარები.

ტალღის სიმაღლე ყველაზე დიდი განმეორებითობისას (9-12 მ/წმ – უზრუნველყოფა – 40%) აღწევს 0,75-1,15 მ. შტორმული ტალღის სიგრძე 1,5-1,8 მ-ია.

წყალსაცავს ძირითადად იყენებენ ენერგეტიკული და სარწყავი მიზნებისათვის. მუშაობს ორი პეისი – ხრამქესი I და ხრამქესი II. პირველი წალკის წყალსაცავის ხარჯზე; მეორე – გვირაბული დერივაციის ხარჯზე, ხრამქეს I-ის ქვევით, 400 მეტრი სიმაღლიდან ვარდნისას.

ხრამქეს II-დან წყალი გამოიყენება სარწყავად. ჰიდროკვანძის ნაგებობებში შედის 113 მ სიგრძისა და 32 მ სიგანის ქვის ნაყარი კაშხალი ფოლადის ეკრანით, წყალსაგდები და წყალსაშვები გადამფარავი ფარებით, წყალმიმღები სიღრმითი წყალსაღები.

მდ. ალგეთის აუზი მოიცავს ორ წყალსაცავს – ალგეთისას და მარაბდისას. მათში აკუმულირებული წყალი (66,2 მლნ მ³) გამოიყენება ახლო მდებარე ტერიტორიების მოსარწყავად.

მდ. ალაზნის აუზი მოიცავს ცხრა წყალსაცავს (ჭალის, ლაპიანის, ოქტომბრის, თელეთის წყლის, კუს წყაროს, შავსაყდრის, თავწყაროს, ვაკეს და ჭერემის), საერთო მოცულობით 12,77 მლნ მ³.

მდ. ლიახვის აუზში მდებარეობს ოთხი საირიგაციო წყალსაცავი (პატარა ლიახვის, ნადარბაზევის, ხეთაგუროვის და მლაშეხის), საერთო მოცულობით 48,9 მლნ მ³.

მდ. არაგვის აუზში სეზონური დეფიციტის შესავსებად შექმნილია კომპლექსური ჰიდროკვანძი – ჟინვალის და ნარეკვავის წყალსაცავი. დარეგულირებული ჩამონადენის საერთო მოცულობა 526,8 მლნ მ³-ია.

ჟინვალის წყალსაცავი მდებარეობს მდინარეების: მთიულეთის არაგვის, ფშავის არაგვის და ხორხეს შეერთების რაიონში. წყალსაცავი სეზონურად რეგულირდება და გამოიყენება ენერგეტიკის, წყლით მომარაგებისა და მორწყვისათვის. ამ მიზნით წყალი აიღება ბუფერული აუზიდან, რომლის მოცულობა 1 მლნ მ³-ია და მდებარეობს ჰეს-ის წყალსაგდებ ტრაქტზე. წყლის ნაწილი (9,8 მ³/წმ) ჩაედინება თბილისის წყალსაცავში და ხმარდება მორწყვას, ნაწილი კი (5,2 მ³/წმ) ხმარდება ქ. თბილისის სასმელი წყლით მომარაგებას. ჟინვალის წყალსაცავის ექსპლუატაციისას მოსალოდნელია სამგორის მცირე ჰეს-ის ენერგეტიკული ეფექტის შემცირება.

შეტბორვის ზონაში ხეობის პროფილი V-ს მაგვარია, სიგანით 300-400 მ და ფერდების დახრილობით – 30-40°, ფშავის არაგვის ხეობა ტრაპეციოიდული პროფილისაა, სიგანით 90-800 მ და დახრილობით – 30-50°.

წყალსაცავის გეოლოგიური შემადგენლობა – მეზოზოური და კაინოზოური დანალექების უძველესი ცარცული ასაკის ქანებია. ახალგაზრდა ფენები მეოთხეულ ასაკამდე – კონგლომერატებია. კალთებზე ჭარბობს ფლიშეული ფაციების ქანები, ფიქალისებრი, მერგელიტები, კირქვებით, თიხოვანი ფიქლებით და არგილიტებით.

მეოთხეული ასაკის ქანები წარმოდგენილია მდინარის ჭალების ალუვიებით და პროლუვიალურ-დელუვიალური დანალექების ფენებით.

წყალსაცავი მდებარეობს დაძაბულ ტექტონურ ზონაში, ხეობის მარჯვენა კალთაზე ტექტონიკა შედარებით წყნარია.

წყალსაცავი კალაპორტურია, გაჭიმულია ორი მდინარის ხეობების გასწვრივ. მაქსიმალური სიგრძე 12,0 კმ-ია, მაქსიმალური სიგანე – 1,0 კმ, საშუალო 0,70 კმ.

სათავე ნაგებობა წარმოდგენილია ნაყარი კენჭნარი, 102 მ სიმაღლისა და 415 მ სიგრძის კაშხლით, წყალმიმღები კოშკურით, მარცხენა ნაპირზე ხარჯის ადებით (100 მ³/წმ) და სიდრმული წყალსაგდები ხარჯით (1000 მ³/წმ). წყალმიმღებიდან წყალი ტურბინებთან მიედინება 625 მ სიგრძის მიწისქვეშა გვირაბით. ჰესი-ის მიწისქვეშა დარბაზში 4 ჰიდროაგრეგატია, სიმძლავრით 232,5 ათასი კვტ, გამომტანი დერივაცია, საერთო სიგრძით 9,7 კმ და უდაწნეო გვირაბი, რომელიც უერთდება არხს. იგი ახორციელებს წყლის გადაგდებას ბუფერულ აუზში, საიდანაც გამოიყენება სამეურნეო მიზნებისათვის.

დონური რეჟიმი არასტაციონარულია. წყალსაცავის მაქსიმალური სიდრმა 94 მ, საშუალო – 50 მ. წყლის დონის მერყეობის ამპლიტუდა

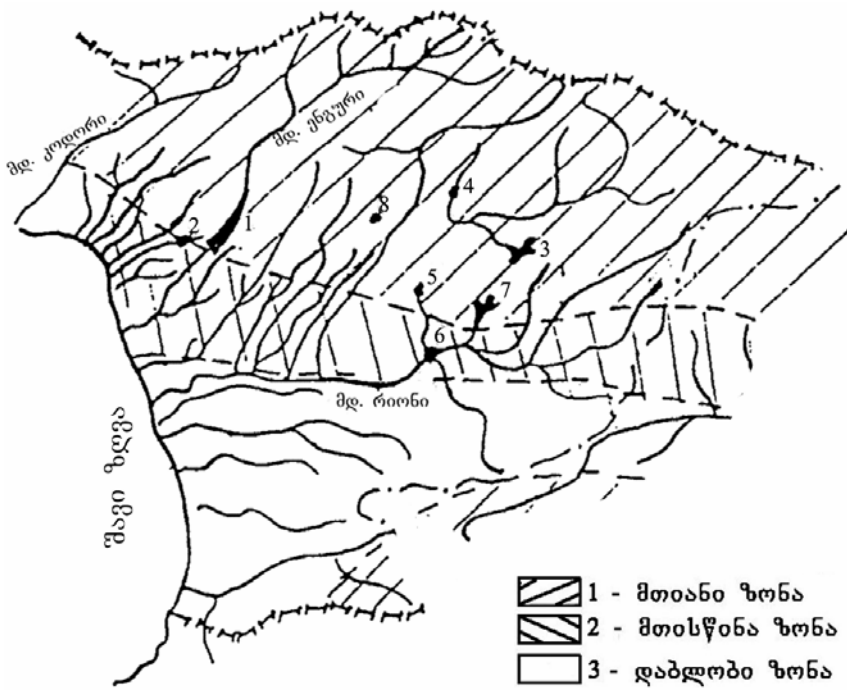
წლის განმავლობაში 40 მ-ია. წყლის მოცულობა და სარკის ფართობი ექსპლუატაციის პროცესში ფართო საზღვრებში იცვლება.

ქარისმიერი დელტა განვითარებულია წყალსაცავის გაფართოებულ ნაწილში და ხასიათდება არარეგულარობით, ყველაზე ძლიერი დელტა შეინიშნება ხეობის ქარებისას.

წყალსაცავი გამოიყენება კომპლექსურად – ჰიდროკვანძი წარმოადგენს მდ. მტკვრის ქვემო დინების გამოყენების სქემის პირველ საფეხურს.

1.4.2. დასავლეთ საქართველოს წყალსაცავიანი სისტემების თავისებურებანი

დასავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებულია რვა წყალსაცავი, რომლებიც გამოიყენება, ძირითადად, ენერგეტიკის სფეროში. წყალსაცავები განლაგებულია მდ. ენგურის და მდ. რიონის აუზებში. მათი ძირითადი მაჩვენებლები მოყვანილია ნახ.1.4.5-ზე და ცხრილებში 1.4.10, 1.4.11, 1.4.12 [ი. იორდანიშვილი, 2008; 2009].



ნახ. 1.4.5. დასავლეთ საქართველოს წყალსაცავების განლაგების სქემა ($V_{სრ} > 1$ მლნ.მ³)
(წყალსაცავების დასახელება შეესაბამება მათ ნუმერაციას ცხრ. 1.4.10-ში)

ცხრილი 14.10

დასავლეთ საქართველოს წყალსაცავების ($V_{სრ} > 1$ მლნ.მ³) მეშვეობით მდინარეების ჩამონადენის დარეგულირების მაჩვენებლები

ნახ. 14.5-ის მიხედვით	მთავარი მდინარის აუზის დასახელება	წყალსაცავი	წყალსაცავის მოცულობა, მლნ.მ ³		დარეგულირების მაჩვენებელი		მდინარის ჩამონადენი წყალსაცავის კვეთში, $V_{ჩამონად.}$, მლნ.მ ³
			$V_{სრ}$	$V_{სახ.}$	$\frac{V_{სრ}}{W_{ჩამონ.}}$	$\frac{V_{სახ.}}{W_{ჩამონ.}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	ენგურის	ჯვრის (ენგურის)	1090,0	662,0	0,235	0,143	464,0
2	ერის-წყლის	გალის	145,0	26,0	0,0298	0,0556	485,0
3	რიონის	შაორის	90,0	87,0	0,703	0,679	128,0
4	რიონის	ტყიბულის	84,0	62,0	0,388	0,286	216,5
5	რიონის	გუმათის	39,0	13,0	0,0077	0,00255	5100,0
6	რიონის	ლაჯანურის	24,6	17,6	0,0163	0,0116	1510,0
7	რიონის	ვარციხის	14,6	2,4	0,0017	0,00028	8600,0
8	კუხის-წყლის	კუხის	1,9	1,85	0,657	0,64	2,89
სულ			1,4891 კმ ³				

ცხრილი 14.11

დასავლეთ საქართველოს მოქმედი წყალსაცავების ძირითადი მახასიათებლები

ნახ. 14.5-ის მიხედვით	წყალსაცავი	წყალსაცავის კვების წყარო	წყალსაცავიდან გამყვანი ტრაქტის ხარჯი, ღ მ ³ /წმ	მსახურებაში შესვლის წელი	წყალსაცავის მოცულობა, მლნ.მ ³		წყალსაცავის გამოყენებისა და რეგულირების სახეობა
					$V_{სრ}$	$V_{სახ.}$	
1	2	3	4	3	4	5	8
1	ჯვრის (ენგურის)	მდ. ენგური	400,0	1978	1090,0	662,0	ე; სეზონური
2	გალის	მდ. ერის-წყალი	600,0	1972	145,0	26,0	ქ; დღე-ღამური
3	შაორის	მდ. დიდი ჭალა	20,0	1955	90,0	87,0	ე; წლიური
4	ტყიბულის	მდ. ტყიბული	34,0	1956	84,0	62,0	ე; სეზონური
5	გუმათის	მდ. რიონი	ჩამონადენის მიხედვით	1958	39,0	13,0	ქ; დღე-ღამური
6	ლაჯანურის	მდ. ცხენის-წყალი	100,0	1961	24,6	17,6	ქ; დღე-ღამური
8	კუხის	მდ. კუხის-წყალი		1978	1,9	1,85	ი; სეზონური

აღნიშვნები: ე – ენერგეტიკა, ი – ირიგაცია

დასავლეთ საქართველოს წყალსაცავების ზოგადი მონაცემები

№	მთავარი მდინარის სახელი	სადაცაა წყალსაცავი	ადგილმდებარეობა (მდინარე)	წყალშემკრები ფართობი (კმ ²) მანძილი შესართავიდან კაშხლამდე(კმ)	წყალსაცავის ანთროპოგენური ტიპი	წყალსაცავის ტიპი	გენერალური დამპროექტებული გამოყენების სახე (ერთობლივი, განცალკევებ.)	სიგრძე სიგანე (კმ)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ენგური	ჯვრის (ენგურის)	წალენჯიხის რ-ნი (მდ. ენგური)	$\frac{3\ 170}{80}$	გა*	კალაპოტური	თბილქიდროპროექტი განცალკევებული	$\frac{30,0}{1,6}$
2	ენგური	გაღის	გაღის რ-ნი (მდ. ენგური, მდ. ერის-წყალი)	169	გა	კალაპოტური	თბილქიდროპროექტი განცალკევებული	$\frac{9,0}{1,8}$
3	რიონი	შაორის	ამბროლაურის რ-ნი (მდ. დიდი ჭალა)	$\frac{126}{21}$	გა	ქვაბული	თბილქიდროპროექტი ერთობლივი	$\frac{7,5}{3,0}$
4	რიონი	ლაჯანურის	ცაგერის რ-ნი (მდ. ცხენის-წყალი, მდ. ლაჯანური)	$\frac{1691}{12}$	გა	კალაპოტური	თბილქიდროპროექტი განცალკევებული	$\frac{3,2}{0,45}$
5	რიონი	გუმათის	წყალტუბოს რ-ნი (მდ. რიონი)	$\frac{3510}{165}$	გა	კალაპოტური	თბილქიდროპროექტი განცალკევებული	$\frac{8,0}{0,6}$
6	რიონი	ვარციხის	წყალტუბოს რ-ნი (მდ. ყვირილა, მდ. ხონის-წყალი)	$\frac{8100}{60}$	გა	კალაპოტური	თბილქიდროპროექტი განცალკევებული	$\frac{4,0}{3,0}$
7	რიონი	ტყიბულის	ტყიბულის რ-ნი (მდ. ტყიბული, შაორის ჰესიდან გამოსული წყალი)	$\frac{86}{12}$	გა	კალაპოტური	თბილქიდროპროექტი განცალკევებული	$\frac{6,0}{3,7}$
8	რიონი	კუხის	ხონის რ-ნი (მდ. კუხის-წყალი)	$\frac{7,8}{12}$	გა	კალაპოტური	საქწყალპროექტი განცალკევებული	$\frac{1,0}{0,5}$

*) გ.ა. – გეოდინამიკურად არამდგრადი

დასავლეთ საქართველოს წყალსაცავების სხვადასხვა მაჩვენებლები: გეომორფოლოგიური, მორფომეტრული, დონის დამუშავების, სიღრმის, ჩამონადენის დარეგულირების და ფორმის კლასიფიკაცია მოყვანილია ცხრილებში 14.13; 1.1.14; 14.15; 14.16; 14.17 და ნახ. 14.6.

ცხრილი 14.13

**დასავლეთ საქართველოს წყალსაცავების კლასიფიკაცია
ჰიფსომეტრული ზონალობის მიხედვით**

№	წყალსაცავი	დონის ნიშნულები		კლიმატური ზონა*)	რელიეფის კოეფიციენტი „ა“
		ნშდ	მმდ		
1	2	3	4	5	6
დაბლობის ზონა < 400 მ					
1	ვარციხის	87,00	86,50	Cfa	0,558
2	ტაღის	100,55	97,00	Cfa	0,685
3	კუხის	170,00	158,00	Cfb	0,650
4	ტუმათის	200,00	96,00	Cfa	0,554
მთისწინა ზონა 400–800 მ					
5	ლაჯანურის	494,00	478,00	Cfca	0,352
6	ჯვრის	510,00	440,00	Cxa	0,404
7	ტეიბულის	522,50	515,00	Cfca	0,322
მთიანი ზონა 800–1200 მ					
8	შაორის	1132,00	1124,00	Dfbk	0,249

- *) Cfa – ზღვის ტენიანი ჰავა რბილი ზამთრით და ცხელი ზაფხულით;
 Cfb – ტენიანი ჰავა ზომიერად ცივი ზამთრით და თბილი ზაფხულით;
 Cfca – ტენიანი ჰავა ზომიერად ცივი ზამთრით და ცხელი ზაფხულით;
 Cxa – ზომიერად ტენიანი ჰავა ნალექების ორი მინიმუმით წელიწადში;
 Dfbk – ტენიანი ცივი ზამთრით და გრილი ზაფხულით.

ცხრილი 14.14

დასავლეთ საქართველოს წყალსაცავების კლასიფიკაცია
მორფომეტრული მაჩვენებლების მიხედვით

№	წყალსაცავი	სრული მოცულობა $V_{სრ.}$ კმ ³	სარკის ფართობი F კმ ²	ფიქტიური სიღრმე $V_{სრ.}/F$ მ
1	2	3	4	5
მსხვილი ($V_{სრ} > 1$ კმ ³)				
1	ჯვრის	1,092	13,48	81,00
საშუალო ($V_{სრ} = 1,0 \pm 0,1$ კმ ³)				
2	გალის	0,145	8,00	18,14
3	ტყიბულის	0,084	11,50	7,30
4	შაორის	0,071	13,20	5,37
5	გუმათის	0,039	2,40	16,20
6	ლაჯანურის	0,024	1,40	17,10
7	ვარციხის	0,0146	5,07	2,88
8	კუხის	0,0019	0,30	2,71

ცხრილი 14.15

დასავლეთ საქართველოს წყალსაცავების კლასიფიკაცია
გეომორფოლოგიური მაჩვენებლების მიხედვით

№	წყალსაცავი	წყალსაცავის კონფიგურაცია	წაგრძელება L/B	დასერილობის კოეფიციენტი $K_{დასერ.} = \frac{L_{დასერ.}}{L_{მოსაზ.}}$	მიწების დატბორვა, S	
					მოცულობის ერთეულზე S/V კმ ² /კმ ³	დაწნევის ერთეულზე S/d კმ ² /მ
1	2	3	4	5	6	7
ხეობის, ღრმაწყლიანი						
1	ჯვრის	ძლიერ წაგრძელებული, დასერილი ნაპირებით	38,50	1,25-1,60	13,6	0,064
2	ლაჯანურის	კაშხლის მიმდებარე ტერიტორიასთან წაგრძელებული, ორფრთიანი	11,40	1,12	58,3	0,021

ცხრილი 14.15 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7
ქვაბულის, ღრმაწელიანი						
3	გაღის	ჩანგლისებური, რთული მოხაზულობის	6,00	1,30	76,1	0,212
ხეობის, საშუალო სიღრმის						
4	გუმათის	ვიწრო, წაგრძელებული	25,00	1,08	61,5	0,080
5	კუხის	ჩანგლისებური	2,5	1,04	181,0	0,180
6	ტყიბულის	რთული მოხაზულობის, სამფრთიანი, ძლიერ დასერილი	3,16	1,72	198,8	0,498
შერეული (ხეობა – ქვაბულის, წყალმცირე)						
7	შაორის	სამკუთხედის ფორმის	4,26	1,28	204,2	1,179
8	ვარციხის	რთული მოხაზულობის, ძლიერ დასერილი ნაპირებით	3,07	1,48	204,1	0,372

ცხრილი 14.16

**დასავლეთ საქართველოს წყალსაცავების კლასიფიკაცია
ღონის დამუშავების მიხედვით**

№	წყალსაცავი	რეგულირების ტიპი	ღონის დამუშავების სიღრმე, A, მ	ღონის გადაადგილების სიჩქარე მ/დღე-ღამეში		ღონის სტაბილიზაციის ხანგრძლივობა დღე-ღამე	
				$V_{აწვევა}$	$V_{ნამოწვევა}$	ნ'მდ ^{*)}	მმდ ^{*)}
1	2	3	4	5	6	7	8
ინტენსიური დამუშავების წყალსაცავები (A=100÷50 მ)							
1	ჯვრის	სეზონური	70,0	1,16	0,52	92	30
სწრაფი დამუშავების წყალსაცავები (A=45÷15 მ)							
2	ლაჯანურის	კვირეული	16,0	–	–	–	–
საშუალო დამუშავების წყალსაცავები (A=15÷6 მ)							
3	კუხის	სეზონური	12,0	–	–	–	–
4	შაორის	სეზონური	8,0	0,02	0,05	31	–
5	ტყიბულის	სეზონური	7,5	0,02	0,04	30	–

ცხრილი 14.16 (გაგრძელება)

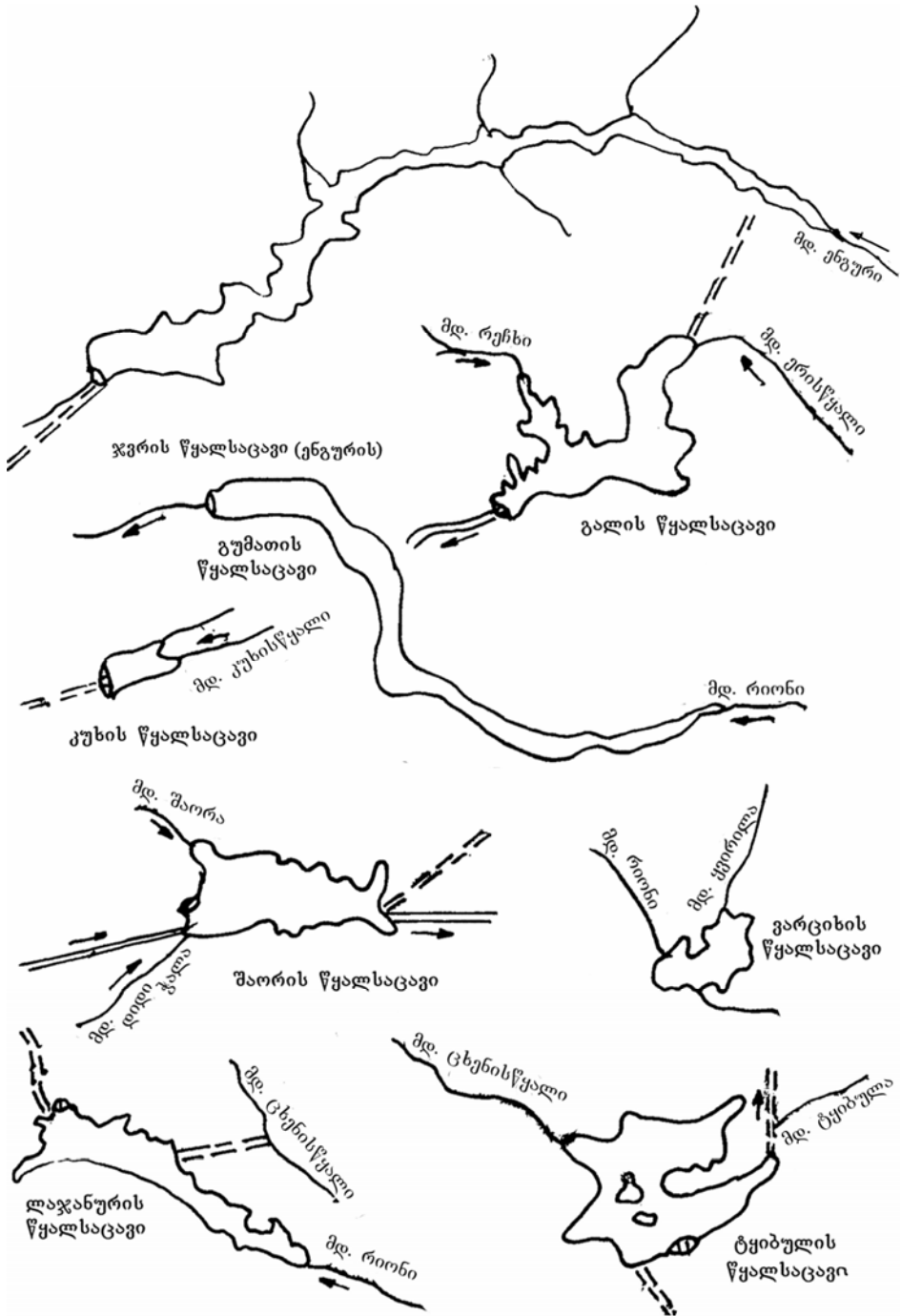
კვაზისტაბილური წყალსაცავები ($A < 6,0$ მ)							
6	გუმათის	დღე-ღამური	4,0	-	-	-	-
7	გაღის	სეზონური	3,55	-	-	-	-
8	ვარციხის	დღე-ღამური	0,5	-	-	-	-

*) მმდ – მკვდარი მოცულობის დონე;
 ნშდ – ნორმალური შეტბორვის დონე.

ცხრილი 14.17

დასავლეთ საქართველოს წყალსაცავების კლასიფიკაცია
 სიღრმის მიხედვით

№	წყალსაცავი	სიღრმე, d , მ		მორფოლოგიური მაჩვენებელი $\frac{d}{F} \cdot 10^{-3}$	მოცულობის ნამატი 1 მ სიღრმეზე $\frac{V_{სრ.}}{d}$ მლნ.მ ³ /მ
		$d_{მაქს.}$	$d_{საშ.}$		
1	2	3	4	5	6
ძალიან ღრმა ($d > 100$ მ)					
1	ჯვრის (ენგურის)	230,0	115,0	0,98	4,74
ღრმა ($d = 100 - 40$ მ)					
2	ლაჯანურის	67,8	36,0	0,93	0,35
3	გაღის	52,0	26,0	0,086	2,78
საშუალო სიღრმის ($d = 40 - 20$ მ)					
4	ტყიბულის	32,0	16,0	0,0042	5,25
5	გუმათის	30,0	17,0	0,12	1,30
6	კუხის	19,4	6,3	0,13	0,10
7	შაორის	12,3	6,8	0,035	5,77
მცირე სიღრმის ($d < 10$ მ)					
8	ვარციხის	8,0	4,0	0,03	1,83



ნახ. 14.6. დასავლეთ საქართველოს წყალსაცავების ფორმა
(თანაფარდობით მასშტაბში)
(- მდინარე; = არხი; = = = წყალსადენი, წყალსაგდები,
წყალმიმღები და ა.შ.)

დასავლეთ საქართველოს წყალსაცავები განლაგებულია მდინარეების ენგურისა და რიონის აუზებში.

მდ. ენგურის აუზი 4060 კმ² ფართობით, გადაჭიმულია კავკასიონის მთავარი ქედის სამხრეთ კალთებიდან კოლხეთის დაბლობამდე. მდინარის საერთო ვარდნა 2614 მ-ია, სიგრძე – 213 კმ, საშუალო ქანობი – 11,8%. მდინარის კუთრი სიმძლავრე ზემო დინებაში შეადგენს 2000 კვტ-ს, შუა დინებაში – 2000-დან 1400 კვტ-მდე და ქვემო დინებაში – 1000 კვტ-ს 1 კმ-ზე. მდინარის ენერგეტიკული ათვისება დაიწყო 1961 წელს ენგურჰესის და ჯვრის წყალსაცავის მშენებლობით (ნახ. 14.7).

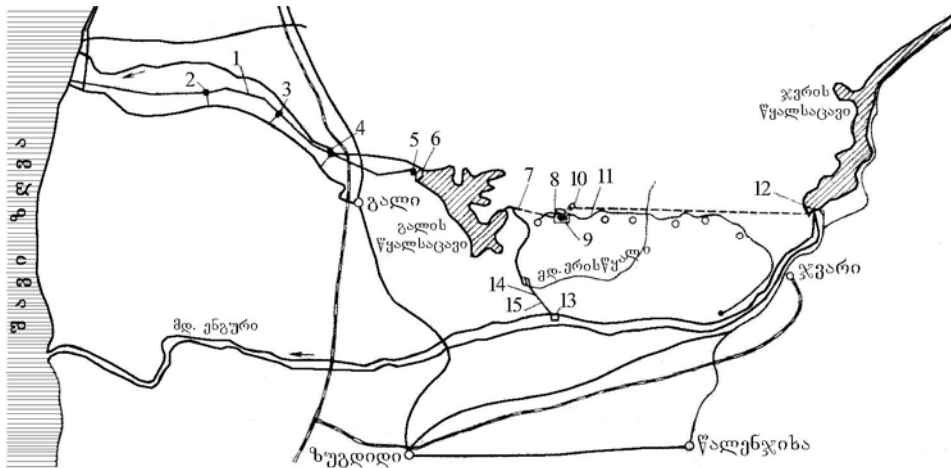
1090 კმ³ მოცულობის წყალსაცავი მდებარეობს მდინარის შესართავიდან 80 კმ-ზე. ენგურის (ჯვრის) გამომუშავებული წყალი, 450 მ³/წმ, ვარდება მდ. ერისწყლის აუზში – გალის დღე-ღამური რეგულირების წყალსაცავში. ენგურის ჰესი ექსპლუატაციაში შევიდა 1978 წელს. ხულონჰესის მშენებლობა დაიწყო 1980 წელს, 1991 წელს მშენებლობა შეჩერდა წყალსაცავის მდებარეობის რაიონში ეკოლოგიური მდგომარეობის მოსალოდნელი გაუარესების გამო. მაგრამ, სამწუხაროდ, სწორედ მშენებლობის შეჩერება გახდა ეკოლოგიური სიტუაციის გაართულების მიზეზი.

ჰესების კასკადების ექსპლუატაციის არსებული მაგალითებით შეიძლება ითქვას, რომ 1090 მლნ.მ³ მოცულობის ჯვრის წყალსაცავის კასკადის სხვა საფეხურის არსებობისას 227 მლნ. მ³ მოცულობის წყალსაცავს არ შეეძლო გარემოს განვითარებაში მნიშვნელოვანი ცვლილებების შეტანა.

ენგურის ჰესი იქმნება მდ. ენგურის გადაადებით მდ. ერისწყალში. წყლის ვარდნა იქმნება 226 მ სიმაღლის თაღოვანი კაშხლით და 183,5 მ დერივაციული დაწნევით (სულ 409,5 მ).

ენგურის წყალსაცავი შეიქმნა მდ. ენგურის თაღოვანი კაშხლის შეტბორვით, მისი სიმაღლე 271,5 მ-ია, მდებარეობს 5 კმ-ით მაღლა დაბა ჯვარზე, იგი მიეკუთვნება მთის ღრმა წყალსაცავებს.

ნ.შ.დ. ნიშნულის 510,0 მ-ზე მდ. ენგურის შეტბორვა ვრცელდება 27 კმ-ზე. წყალსაცავის სიგანე მერყეობს 100-დან 1700 მ-მდე, დამუშავების მაქსიმალური სიმაღლე 70 მ-ია, სრული მოცულობა – 1090 მლნ.მ³, სასარგებლო – 662 მლნ.მ³, სარკის ფართობი – 13,31 კმ². წყალსაცავის დანიშნულება – მდ. ენგურის სეზონური რეგულირება – ხასიათდება შემდეგი მანვენებლებით: წყალშემკრები აუზის ფართობი – 4060 კმ², კაშხლის კვეთში წყლის საშუალო მრავალწლიური ჩამონადენი – 4777 მლნ.მ³, წყლის საშუალო მრავალწლიური ხარჯი – 155 მ³/წმ, წყლის მაქსიმალური ხარჯი – 950 მ³/წმ, მინიმალური – 16 მ³/წმ; წყლის სასარგებლო მოცულობის შეფარდება საშუალო მრავალწლიურ ჩამონადენთან – 0,14; ჩამონადენის გამოყენების კოეფიციენტი – 0,97.



ნახ. 14.7. ენგურის ჰესზე განლაგებული ჰიდროტექნიკური ნაგებობების განლაგების საერთო სქემა.

- 1 – გამომყვანი არხი; 2 – ვარდნილჰესი IV; 3 – ვარდნილჰესი III;
- 4 – ვარდნილჰესი II; 5 – ვარდნილჰესი I; 6 – ვარდნილჰესი I-ის კაშხალი;
- 7 – გამყვანი არხი; 8 – ღია გამანაწილებელი მოწყობილობა – 500 კვტ;
- 9 – ენგურჰესის მიწისქვეშა შენობა; 10 – გასათანაბრებელი რეზერვუარი;
- 11 – დერივაციული გვირაბი; 12 – თაღვანი კაშხალი; 13 – მდ. ენგურის ჩამონადენის მდ. ერისწყალში გადამღები ნაგებობები (წყალსაში კაშხალი, წყალმიმღები გამრეცხი რაბი); 14 – იგივე, არხები №1 და №2;
- 15 – იგივე, უდაწნო გვირაბით

წყალსაცავის დონე ნ.შ.დ-ს ნიშნულთან (510 მ) შენარჩუნებულია წელიწადში ზაფხულის სამი-ოთხი თვე. წელიწადის დანარჩენ დროს წყალსაცავის დონე მუშავდება და ივსება ჰეს-ის სადისპეტჩერო გრაფიკით.

მდ. ენგურის ხეობის კალთები აგებულია პორფირიტული ბაიოსი კლდოვანი ქანებით, წარმოდგენილი ტუფობრექჩიებით, ტუფო-ქვიშა-ქვით, ტუფებით და პორფირიტის საფარით.

წყალსაცავის 2 კმ სიგრძის მარცხენა ნაპირის კალთაზე ამჟამად არსებობს მეწყრული უბნები და დიდი რაოდენობით ფაშარი მასის უბნები. წყალსაცავის შექმნით ამ უბანზე გაძლიერდა მეწყრული მოვლენები და ინტენსიფიცირებულია ნაპირის აბრაზიული გადაშლა, რომელიც ათწლეულის შემდეგ მოიცავს 80 მ-მდე სიგანის ზოლს, უფრო მეტი ხნის შემდეგ კი – 117 მ წყალსაცავის კიდიდან.

გამოთვლებით, წყალსაცავის ძირითადი მოცულობის დაღეჟვა მოხდება 120 წლის შემდეგ, ხოლო მთლიანი დაღეჟვა – 310 წლის შემდეგ. მთლიანად წყალსაცავის ქვეშ მოქცეული მიწის საერთო ფართობია 1491 ჰა. დატბორვაში მოჰყვა, ძირითადად, ტყის ფართობები –

865,78 ჰა (58,0%), სასოფლო-სამეურნეო მიწები – 503,76 ჰა (33,7%) და სხვა მიწები – 121,7 ჰა (8,3%).

ამ რაიონის სოფლის მეურნეობა ხასიათდება მიწების ფონდის სუსტად გამოყენებით. დატბორილ სავარგულებს შორის არ არის მიწები, რომლებიც გამოიყენებოდა მნიშვნელოვანი კულტურებისათვის. ჯვრის წყალსაცავის ზონაში მოჰყვა 11 მცირე დასახლებული პუნქტი. ამ ზონიდან გადატანილია 62 ეზო, გაყვანილია 325 ადამიანი, ასევე სახელმწიფო დაწესებულებების რამდენიმე შენობა.

წყალსაცავში ნატანის ბუნებრივი ჩამონადენის დაგროვებისას მწვავედ დგება პრობლემა, რომელიც უკავშირდება შავი ზღვის სანაპირო ზოლის ჰიდროლოგიურ და გეომორფოლოგიურ ცვლილებებს.

პრობლემის ძირითადი არსია ის, რომ დასავლეთ საქართველოს მთის მდინარეების მიერ გამოტანილი მყარი ჩამონადენის ნაწილი მუდმივად ავსებს შავი ზღვის სანაპირო ზოლის ქვიშოვან-კენჭოვან დანალექებს, არა მარტო შესართავის ახლოს, არამედ მისგან დიდ მანძილზეც. მაღალი კაშხლების აღმართვა იწვევს მყარი ჩამონადენის მკვეთრ და ხშირად სრულ შეწყვეტას, რითაც იქმნება სანაპირო ზოლში ნატანის მწვავე დეფიციტი. ვითარდება შეუქცევადი პროცესები: შტორმულ დელტას მიაქვს პლაჟის მასალა და ამის შედეგად სანაპირო სწრაფად ირეცხება.

შავი ზღვის სანაპირო ზოლის, რომელიც უნიკალურია თავისი ბუნებრივ-კლიმატური მონაცემებით, შენარჩუნების პირობა სერიოზულ მოთხოვნებს უყენებს მდ. ენგურზე ჰიდროელექტროსადგურების ექსპლუატაციას.

პრობლემის ინჟინრულ-ტექნიკური მხარე მდგომარეობს: პირველ რიგში, დაპროექტებისას ზღვის სანაპიროს მოსალოდნელი გადაფორმირების პროგნოზირებაში, გარეცხვების ინტენსივობისა და რაოდენობრივ შეფასებაში, მეორე – ისეთი ოპტიმალური მეთოდების შემუშავებაში, რომლებიც ან მთლიანად აღმოფხვრის გარეცხვებს, ნაპირდამცავი ნაგებობების მშენებლობით, ან საშუალებას მოგვცემს, ხელოვნურად შეივსოს ნატანის დეფიციტი.

გალის წყალსაცავი – კალაპოტურია, შექმნილია 55 მ სიმაღლის ქვა-მიწიანი კაშხლით, აქვს რთული მოხაზულობა, დრმადაა შეჭრილი ხეობაში, ყველაზე დიდი სიღრმე და სიგანე – ქვედა და შუა ზონაშია. მისი ნაპირები დაფარულია თიხის ფენებით და ამიტომ გამორეცხვების მიმართ მედეგია. მარცხენა ფრთასთან შეიმჩნევა მეწყრები.

ქვედა ზონაში ნაპირები დამრეცია (40-70°) და მაღალია, ზედა ზონაში – თანდათან ეშვება და გადადის ბუნებრივ დაფარულ კალთებში. წყალსაცავის სიგრძე 9 კმ-ია, საშუალო სიგანე – 1,5 კმ (მაქსიმალური – 1,8 კმ), საშუალო სიღრმე – 26 მ, მაქსიმალური – 52 მ, წლიურ

ჭრილში დამუშავების დონის სიმაღლე 3,5 მ-ია.

წყალსაცავი გამოიყენება ენერგეტიკისა და წყალმომარაგებისათვის. იგი ახორციელებს დღე-ღამურ რეგულირებას და მდ. ერისწყლის წყალდიდობების ხარჯების ტრანსფორმაციას.

წყალდება ხდება ენერგეტიკული ტრაქტით, სამნახვერტიანი სადაწნეო კამერით, თითოეულში 8 მ, ჰეს-ის საანგარიშო ხარჯია 425 მ³/წმ. წყლის გადაგდება ხდება წყალსაგდებით, რომლის გამშვებუნარიანობაა 600 მ³/წმ.

კაშხალთან აგებულია ვარდნილჰესი I, რომელშიც სამი ვერტიკალური აგრეგატი. საანგარიშო დაწნევა – 59 მ. საერთო სიმძლავრე შეადგენს 220 ათას კვტ-ს, ელექტროენერგიის საშუალო მრავალწლიური გამომუშავება ტოლია 708 მლნ. კვტ-სთ.

ვარდნილჰეს I-ზე გამოყენებული წყალი ზღვაში გაედინება მიწის არხით, რომელზეც განთავსებულია სამი ტიპური ვარდნილჰესი (II, III და IV). მათში განთავსებულია ორ-ორი აგრეგატი, სიმძლავრით 20 000 კვტ. საერთო დადგმული სიმძლავრე სამივე ჰეს-ისა ტოლია 120 ათასი კვტ-სა და ელექტროენერგიის საშუალო მრავალწლიური გამომუშავება ტოლია 396 მლნ. კვტ-სთ.

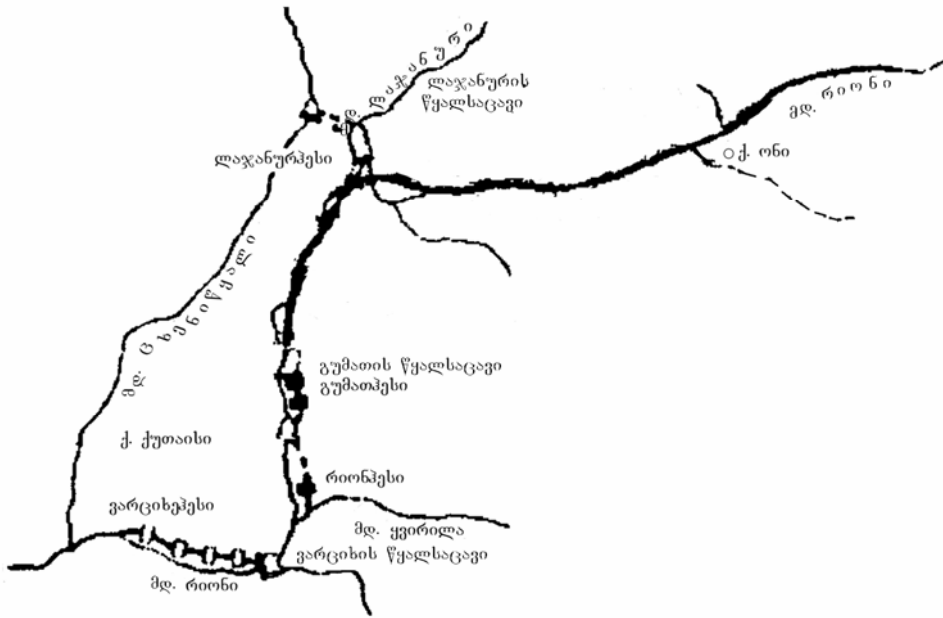
მდ. რიონის აუზი – 13400 კმ² ფართობით, იტევს 3320 მდინარეს, საერთო სიგრძით 6112 კმ, მდინარის ქსელის სიხშირეა 1,68 კმ/კმ². რიონის სიგრძე 327 კმ-ია, ვარდნა 2620 მ, საშუალო ქანობი – 7,2%.

ენერგეტიკული თვალსაზრისით მეტად საინტერესოა მდინარის შუა დინება, სადაც თავმოყრილია მისი პოტენციური ენერგიის 80% და სადაც მდებარეობს სამი ჰიდროელექტროსადგური წყალსაცავებთან ერთად (**გუმათის ჰესი, ლაჯანურის და ვარციხის ჰესები** (ნახ. 1.4.8, 1.4.9, 1.4.10). **შაორის და ტყიბულის წყალსაცავებმა** განიცადა მცირე ცვლილება. გუმათის, ლაჯანურის და ვარციხის წყალსაცავები თითქმის მთლიანად გავსებულია ნატანით. წყალსატევების მოცულობის დაკარგვის გამო შემცირდა სადგურების გამომუშავება და დაირღვა სისტემის მოქნილობა.

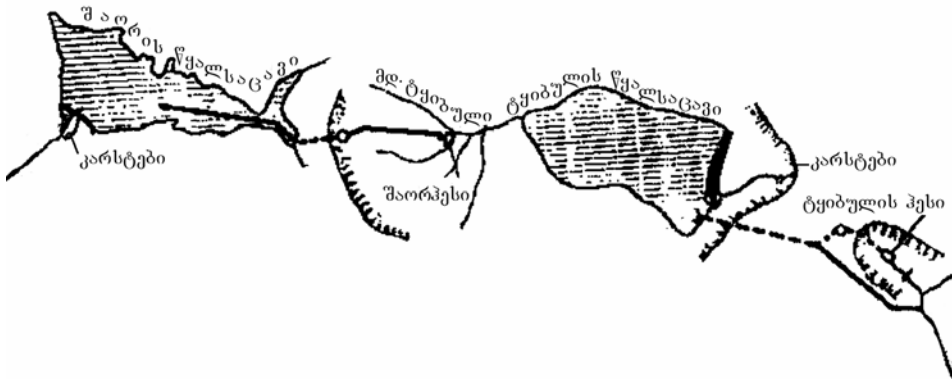
კუხის წყალსაცავი (მდ. კუხის-წყალზე) – ირიგაციული მნიშვნელობისაა.

დასავლეთ საქართველოს წყალსატევები ძირითადად გამოიყენება ენერგეტიკის სფეროში.

ლაჯანურის წყალსაცავის სისტემის ჰიდროტექნიკური სქემა შედგება ბეტონის თაღოვანი კაშხლისაგან, სიმაღლით 69 მ, წყალმიმდებისაგან ($Q = 100$ მ³/წმ) და შემოვლითი გვირაბისაგან (ნახ. 1.4.10). მდ. ცხენისწყლის და ლაჯანურის ჩამონადენის გაერთიანებით მიღებულია 134,0 მ-ის დაწნევა, საანგარიშო ხარჯით – 420 მ³/წმ.



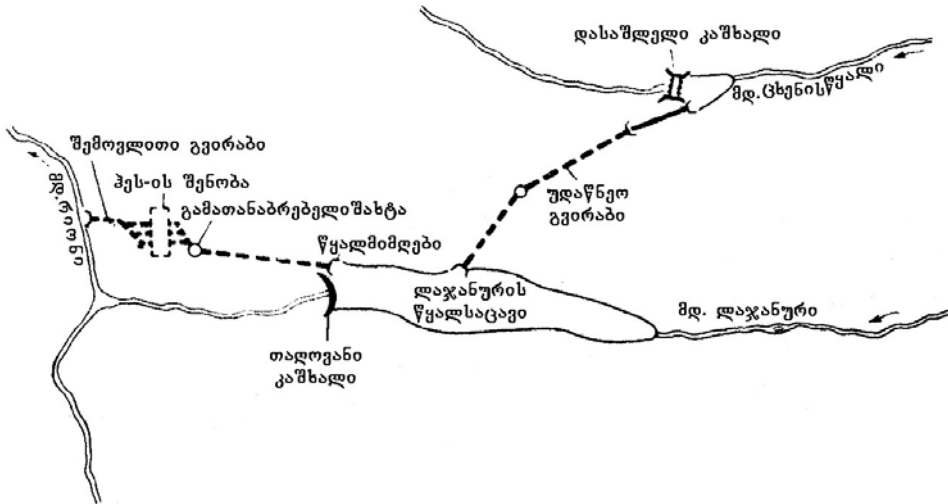
ნახ. 14.8. მდ. რიონის გამოყენების სქემა



ნახ. 14.9. შორი-ტყბოულის კასკადის სქემა

ლაჯანურის კაშხალი პირველი თაღოვანი კაშხალია, რომლითაც დაედო საფუძველი საქართველოში თაღოვანი კაშხლებისა და მიწისქვეშა პესების შენებას.

წყალსაცავი მდებარეობს ამოზნექილი ნაპირების მქონე ხეობაში. მისი სიგანე მერყეობს 10-დან 80 მ-მდე. კალთები ძლიერ დანაწევრებულია ხეობებით. მდინარის საშუალო წლიური ხარჯი კაშხლის კვეთში არის 10,5 მ³/წმ, მაქსიმალური – 183 მ³/წმ, მდ. ცხენისწყლიდან გადაგდება – 60 მ³/წმ.



ნახ. 14.10. ლაჯანურ-პესის ჰიდროტექნიკური ნაგებობების სქემა

ხეობის გეოლოგიური აგებულება რთულია. მისი ფსკერი და მაღალი ფერდები აგებულია სხვადასხვა ფორმაციის ქანებისაგან. ქვედა, ვიწრო, კაშხლის მიმდებარე ნაწილი აგებულია სქელფენიანი, მყარი კირქვისაგან, რომელიც ეკუთვნის შუა და ქვედა ეოცენს და პალეოცენს; ჩრდილო და სამხრეთ ნაპირების ზედა უბნები შედგება ქვიშისა და მერგელისნაირი თიხებისაგან, დასავლეთით მათ ცვლის ფიქალისებრი მაიკოპის ოლიგოცენის თიხები.

წყალსაცავის ორივე ნაპირი ფართოდაა წარმოდგენილი ქვიშნარებით. მასში წყლის დონის აწევამ გამოიწვია გრუნტის წყლების შეტბორვა, რის შედეგად გააქტიურდა მეწყერი, მთელი სამხრეთ-დასავლეთი კალთა მეწყრულია; მეწყრები ვითარდება წყალსაცავის აღმოსავლეთ ბოლოშიც, მდ. ხელეშურის დელესთან.

წყალსაცავი მიეკუთვნება საშუალო კალაპორტური ტიპის წყალსატევს. აქვს გაწელილი ოვალური ფორმა. სიგრძე 3,2 კმ, საშუალო სიგანე – 0,28 კმ, მაქსიმალური – 0,45 კმ; საშუალო სიღრმე – 30 მ, მაქსიმალური – 70,0 მ. დონური რეჟიმი არასტაბილურია. დამუშავება – 16 მ, თუმცა ტაფობის ნატანით ავსების გამო ხარჯი არ რეგულირდება და პეს-ი მუშაობის ჩამოდინების მიხედვით.

წყალსაცავის მოცულობა და სარკის ფართობი არსებითად შეიცვალა ტაფობის დაღეჭვის შედეგად. წყალსაცავი გარშემორტყმულია მაღალი მთებით, რომლებიც იცავს მას ქარისაგან. შტილის პროცენტი 60%-ია, ქარის სიჩქარე – 8-10 მ/წმ. კლიმატი ტენიანია, ხშირი წვიმებით.

წყალსაცავი გამოიყენება ენერგეტიკის მიზნებისათვის. დაწნევა 134 მ-ია. სათავო კვანძის ნაგებობებში შედის: თაღოვანი წყალგადასაშვები კაშხალი, 69 მ სიმაღლის, წყალმიმღები ორი ხვრელით,

100 მ³/წმ ხარჯით, ფსკერული გამრეცხი გაღერებით, რომლებიც გადადის 6 მ დიამეტრის გამრეცხ გვირაბში.

შაორის წყალსაცავი წარმოადგენს შაორი-ტყიბულის კასკადის პირველ საფეხურს. მისი განსაკუთრებულობაა კარსტულ რაიონში განლაგება. წყალსაცავის მკვებავი მდინარეები – დიდი ჭალა და ტყიბულა – ქედის ძირში ჩაედინება კარსტულ ორმოებში, შემდეგ კი გამოდის მიწის ზედაპირზე.

ამ გარემოებამ განაპირობა კასკადის ორიგინალური სექმის შექმნა (ნახ. 14.9), შაორის პლატოზე აშენებულია კაშხალი, რომელიც უკეტავს წყალს კარსტულ ორმოებში მისასვლელს, სადაც მდინარე იკარგება. წყალსაცავიდან წყლის მიწოდება ჰესთან ხორციელდება სადაწნეო გვირაბებით, ნარეკვავის ქედის გავლით.

გეოლოგიური თვალსაზრისით შაორის ქვაბული აგებულია მეოთხეული პერიოდის გრუნტებით, რომელთა ქანები წარმოდგენილია ალუვიალური და დელუვიალური დანალექებით, თიხნარებით. წყალსაცავი მაღალმთიანია, სამკუთხა ფორმის. მისი ფერდები დამრეცი (20-30°) და დაბალია, სამხრეთ-აღმოსავლეთისა და ჩრდილო-დასავლეთის გამოკლებით, სადაც ნაპირების სიმაღლე 4-5 მ-ს აღწევს, ხოლო დახრილობა – 60-80°-ს, სიგრძე 7,5 კმ-ია, საშუალო სიგანე – 1,76 კმ, მაქსიმალური – 3 კმ, საშუალო სიღრმე – 6,3 მ: ხოლო მაქსიმალური – 12,3 მ.

წყალსაცავი წლიური რეგულირებისაა. დამუშავების მაქსიმალური დონე წლიურ ჭრილში 13 მ-ს შეადგენს და უშუალოდ უკავშირდება ჰესის მუშაობის რეჟიმს. მოცულობა და სარკის ფართობი იცვლება წყლის დონის შესაბამისად.

კლიმატი ტენიანია, ცხელი ზაფხულით, ცივი ზამთრით და უხვი ნალექებით. ჰაერის ტემპერატურის ამპლიტუდა 24-25°C. თოვლის საფარის სიმძლავრე 75 სმ-ია.

ჭარბობს სამხრეთისა და აღმოსავლეთის რუმბების ქარები. ქარის მაქსიმალური სიჩქარე 20 მ/წმ-მდეა (იანვარი-მარტი), შტილის უზრუნველყოფა – 52%.

მთის ქედები იცავს ქვაბულს ქარის მოქმედებისაგან. ტალღების მაქსიმალური სიმაღლე 0,7-0,9 მ-ია, მაგრამ მცირე უზრუნველყოფით, რადგან ქარის მაქსიმალური სიჩქარე იმ პერიოდშია, როცა წყალი დაფარულია ყინულით.

პროექტის მიხედვით, წყალსაცავი გამოიყენება ენერგეტიკული მიზნებისათვის და ქ. ტყიბულის ტექნიკური წყალმომარაგებისათვის. ჰესის საანგარიშო დაწნევა 473 მ-ია, საერთო სიმძლავრე – 9600 კვტ.

წყალსაცავის ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებში შედის: ქვაყრილი კაშხალი თიხის ეკრანით, სიგრძით 1210 მ და 11,5 მ სიმაღლის, ფსკერული წყალგასასვეები, გათვლილი 26 მ³/წმ ხარჯზე, ზედაპირული

წყალგადამგდები, გათვლილი 30 მ³/წმ ხარჯზე, წყალსაცავის ფსკერზე არსებული მიმყვანი არხი, 3706 მ სიგრძის და 5 მ სიღრმის და ჰესის წყალმიმღები.

ტყიბულის წყალსაცავი – მდებარეობს მდ. ტყიბულაზე. სათავე კვანძი მდებარეობს 12 კმ-ზე მდ. ტყიბულას შესართავიდან (ნახ. 1.4.9).

ტყიბულის წყალსაცავის სისტემა დამატებით იკვებება გადამუშავებული წყლით შაორის ჰესიდან. წყალსაცავი შექმნილია ახალსოფლის ქვაბულში, მდ. ტყიბულას კარსტში ჩაქცევის წინ. ქვაბული მონოკლინური სტრუქტურისაა და ეყრდნობა კირქვას.

ტაფობის გეოლოგიურ აგებულებაში მონაწილეობს განსხვავებული ქანების კომპლექსი.

ქვაბულის კალთები აგებულია იურიული და ცარცის დანალექებით, „მთავრის“ ჩათვლით. ეს ქანები ხასიათდება ძალიან სუსტი წყალშედწვევადობით და ამიტომ წყლის გასვლა წყალსაცავის ჩრდილოეთ რაიონიდან გამორიცხულია. გამონაკლისია ურგონული კირქვები, რომლებიც ნაპრალებიანია და დაკარსტულია, თუმცა ისინიც წყალსაცავის მხარეს დრენირებს და ამიტომ ამ მიმართებით არც ისინია საშიში.

ფილტრაციის მხრივ უფრო საშიშია კაშხლის სამხრეთი რაიონი, რომელიც აგებულია ზემო ცარცული კარსტული კირქვებით, რომლებიც ალაგ-ალაგ ძლიერ დანაწევრებულია.

წყალსაცავის ტაფობის ფსკერზე, მძლავრი მეოთხეული ასაკის დანალექების ქვეშ გაწოლილია იურიული და ცარცული ძირითადი ქანები. ტბური ალუვიალური დანალექები ძირითადად წარმოდგენილია 100 მ სიმაღლის თიხნარებით, კაშხლის მხარეს ისინი 350 მ-მდე იზრდება.

წყალსაცავის დასავლეთ კალთაზე, რომელიც აგებულია ტუფის გენური ქვიშნარებისაგან, კარგადაა გამოსახული ალუვიური ზონა, სიმაღლით 0,5-1,05 მ.

კალთებზე თიხნარების დანალექებია დიდი რაოდენობის კირქვებით, სიმაღლით 1-1,5 მ, იშვიათად – 4 მ.

ნაპირების საშუალო სიმაღლეა 5-დან 200 მ-მდე, დახრილობა – 25°-30°, ზოგან – 45°-50°. პარამეტრული მონაცემებით, წყალსაცავი დამახასიათებელია მთიანი ზონებისათვის. აქვს ძლიერ დასერილი სანაპირო ზოლი და ღრმად შედის მდ. ტყიბულას და გელას შესართავში, სადაც წარმოქმნის ვიწრო, გაჭიმულ ყურეებს. მისი სიგრძე 6 კმ-ია, საშუალო სიგანე – 1,9 კმ (მაქსიმალური – 3,7 კმ). საშუალო სიღრმე 16 მ-ია (მაქსიმალური – 32 მ).

წყალსაცავი სეზონური რეგულირებისაა. დონის მაქსიმალური საპროექტო დამუშავება 6-7 მ-ია და იცვლება შენაკადების რეჟიმის შესაბამისად.

მოცულობა და სარკის ფართობი ექსპლუატაციის პროცესში მცირედ იცვლება. ქარები, ძირითადად, აღმოსავლეთ რუბებისაა. ქარის მაქსიმალური სიჩქარეა 34 მ/წმ, საშუალო – 11-15 მ/წმ, უზრუნველყოფა – 21%, შტილი – 50%.

წყალსაცავის მდებარეობა ხელს უწყობს 0,8-0,1 მ სიმაღლის ტალღების წარმოქმნას.

წყალსაცავი გამოიყენება ენერგეტიკული მიზნებისათვის. საანგარიშო დაწნევა 293 მ-ია, სიმძლავრე – 80 ათასი კვტ. იგი კალაპორტური ტიპისაა, აგებულია 36 მ სიმაღლის მიწის კაშხლით. წყლის აღება ხდება სადაწნეო დერივაციაში და ხორციელდება ორ გასასვლელიანი წყალმიმღებით, რომელიც მარჯვენა ნაპირზეა განთავსებული. წყალი მიედინება სადაწნეო გვირაბში ($Q = 34$ მ³/წმ) და შემდეგ ტურბინების წყალსატარის 4 ტოტის გავლით მიეწოდება ოთხ ტურბინას. წყლის გადაგდება ჰესიდან მდინარის კალაპორტში ხორციელდება გამომყვანი არხით და წყალგადასაშვებით.

თავი 2. საქართველოს მთის წყალსაცავების ეკონომიკური და სოციალური მნიშვნელობა

საქართველოს განვითარებული მეურნეობის წყლით უზრუნველყოფა და მისი ეკოლოგიურად სუფთად შენარჩუნება ერთ-ერთი უპირველესი პრობლემაა. ამ პრობლემის გადაწყვეტაში მთავარ როლს წყალსაცავები ასრულებს. საქართველოს წყალსაცავები მთავარი კვანძია წყლით უზრუნველყოფის პრობლემის გადაწყვეტაში (სასმელი, სარწყავი, ენერგეტიკული, რეკრეაციული, წყალდიდობების პიკების მოხსნა და სხვ.). საქართველო, მიუხედავად მცირე ტერიტორიისა, ხასიათდება მრავალმხრივი ბუნებრივ-ეკოლოგიური პირობებით, უნიკალური მიწის რესურსებით, მნიშვნელოვანი გეოგრაფიული კონტრასტებით, რთული მოზაიკური მიწის საფარის განსხვავებული ტიპებით. აღმოსავლეთ და დასავლეთ რეგიონებისათვის მოცემული განსხვავება, ძირითადად, განისაზღვრება რეგიონების წყლის რეჟიმით, გადიდებული ნესტიანობით დასავლეთ რეგიონებში და წყლის დეფიციტით აღმოსავლეთში; ე.ი. დასავლეთი საჭიროა განვიხილოთ, როგორც გუმიდური ზონები, ხოლო აღმოსავლეთი – როგორც არიდული. გუმიდურ ზონებში მიწის მასივების გამოყენებისას საჭიროა ზოგიერთი ტერიტორიის დაშრობა, ხოლო არიდულ ზონებში – მორწყვა.

ეს მდგომარეობა განპირობებულია კორელაციური განსხვავებით მდინარის აუზის სიმაღლისა (\bar{H}) და ჩამოდინების მოდულით (\bar{M}) (ცხრ. 2.1).

საქართველოში მდინარის ჩამონადენის 80% ფორმირდება ამიერკავკასიის რეგიონში და ჩანს წყლის ბალანსის არსებითი განსხვავება ქვეყნის აღმოსავლეთ და დასავლეთ ნაწილებს შორის. დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა რაოდენობა 35,2%-ით მეტია აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა რაოდენობაზე (ცხრ. 2.2). შესაბამისად იცვლება მდინარეთა ქსელის სისშირე და ჩამონადენის წლიური განაწილება (ცხრ. 2.3).

წყალუხვობით გამოირჩევა მაღალმთიანი ზონა (100-180 ლ/წმ კმ²): მთავარი კავკასიონის ქედის სამხრეთი ფერდობი ბზიფისა და კოდორის სათავეებთან, სამეგრელოს ქედისა და აჭარა-იმერეთის ქედის ჩრდილო-დასავლეთ ფერდობის დასავლეთ დაბოლოების ზემო ზონა. მეტ-ნაკლებად გვალვიანია მტკვარ-ალაზნის მდინარეთაშორისი, სადაც ჩამოდინების მოდული არ აღემატება 1 ლ/წმ კმ²-ზე.

ცხრილი 2.1

ძირითადი კორელაციური დამოკიდებულება აუზის სიმაღლესა (\bar{H}) და ჩამოდინების მოდულს (\bar{M}) შორის

რაიონი	რაიონის მდებარეობა	კორელაციური დამოკიდებულება	კორელაციის კოეფიციენტი
დასავლეთ ამიერკავკასია			
I	ჩრდილო-დასავლეთი	$\bar{H} = 53\bar{M}^{-760}$	$r = 0,72$
II	ჩრდილო-აღმოსავლეთი	$\bar{H} = 7,56\bar{M}^{1,47}e^{0,05\bar{M}}$	$r = 0,68$
III	სამხრეთი	$\bar{H} = 53\bar{M}^{-3500}$	$r = 0,81$
აღმოსავლეთ ამიერკავკასია			
IV	ცენტრალური	$\bar{H} = 49\bar{M}^{-e^{0,03\bar{M}}}$	$r = 0,705$
V	ჩრდილო-აღმოსავლეთი	$\bar{H} = 37,15\bar{M}^{-1,1}e^{0,06\bar{M}}$	$r = 0,66$
VI	ჩრდილოეთი	$\bar{H} = 130\bar{M}^{1,1}$	$r = 0,59$

ცხრილი 2.2

საქართველოს მდინარეთა პარამეტრები

რეგიონი	მდინარეთა რაოდენობა (მრიცხველი), სიგრძე (მნიშვნელი), კმ						
	ტერიტორიის ფართობი, კმ ²	ძალიან მცირე	მცირე	საშუალო	დიდი	სულ	მდინარეთა ქსელის სიხშირე, კმ/კმ ²
		$L < 25$ კმ	$L = 26 \div 100$ კმ	$L = 101 \div 500$ კმ	$L > 500$ კმ		
დასავლეთ საქართველო	32 634	$\frac{18\ 036}{30\ 946}$	$\frac{64}{2\ 723}$	$\frac{9}{1\ 373}$	-	$\frac{18\ 109}{35\ 042}$	1,07
აღმოსავლეთ საქართველო	34 600	$\frac{7\ 113}{18\ 382}$	$\frac{76}{2\ 989}$	$\frac{4}{971}$	$\frac{1}{390^*}$	$\frac{7\ 194}{22\ 732}$	0,68
ჩრდილოეთ საქართველო	2 614	$\frac{756}{1\ 162}$	$\frac{1}{31}$	-	-	$\frac{757}{1\ 193}$	0,46
სულ	69 848	$\frac{25\ 905}{50\ 490}$	$\frac{141}{5\ 743}$	$\frac{13}{2\ 344}$	$\frac{1}{390}$	$\frac{26\ 060}{58\ 967}$	0,85

* - მდინარე მტკვრის სიგრძე მოცემულია საქართველოს ფარგლებში

საქართველოს წყლის რესურსების განაწილების კრებსითი ცხრილი

№	ძირითადი მაჩვენებლები	ზომის ერთეული	რაიონები		სულ ქვეყანაში
			აღმოსავლეთ ნაწილი	დასავლეთ ნაწილი	
1	რაიონის ფართობი	კმ ²	37 307,00	32 633,70	69 940,70
2	საკუთარი ჩამონადენი	კმ ³	12,70	40,90	53,60
3	ტრანზიტული ჩამონადენი	კმ ³	2,20	7,00	9,20
4	მთლიანი ჩამონადენი	კმ ³	14,90	47,90	62,80
5	წლიური ჩამოღინება 1 კა ფართობზე	$\frac{\text{ათასი კმ}^3}{\text{კა}}$	5,30	12,50	17,80
6	ბუნებრივი ზედაპირული წყლის რესურსები წყალმცირობის წელიწადში (95% უზრუნველყოფა)	კმ ³	6,50	29,30	35,80
7	წყლის რესურსების ზრდა ჩამოღინების რეგულირებით 1990 წ.	კმ ³	1,456	0,979	2,435
8	წყლის რესურსების აღრიცხვა ჩამოღინების რეგულირებით 1990 წ. (95% უზრუნველყოფა)	კმ ³	7,956	30,279	38,235

წყლის რესურსების განაწილების სპეციფიკა საქართველოს ტერიტორიაზე სხვადასხვანაირია: სამხრეთ საქართველოში ახალციხის პლატო ხასიათდება სუსტად განვითარებული მდინარეთა ქსელით; შიდა ქართლის მთათაშორისი დაბლობის ძირითადი არტერიაა მდ. მტკვარი, რომლის მარცხენა სანაპირო უზრუნველყოფილია მსხვილი შენაკადებით: ლიახვი, ქსანი, არაგვი, ხოლო მარჯვენა სანაპირო დეფიციტურია წყალმცირე შენაკადების გამო: ძამა, ტანა და თეძამი.

გარე კახეთის ზეგნის ერთადერთ წყაროდ ითვლება მდ. იორი თავის მცირე ღვარცოფული ხასიათის შენაკადებით, ეს რაიონი ყველაზე წყალმცირეა.

სამელორაციო უზრუნველყოფით შეიძლება განისაზღვროს სოფლის მეურნეობის პროდუქციის (ხორბალი, ბოსტნეული, ხილი, ჩაი, საკვებწარმოება მეცხოველეობისა და მეფრინველეობისათვის და სხვ.) ზრდის მიზნობრივი პროგრამების მიზანშეწონილობა (ცხრ. 2.4).

მელიორაციის განვითარებით სოფლის მეურნეობის პროდუქციის ზრდის მონაცემები აღმოსავლეთ საქართველოში

ძირითადი მაჩვენებლები	ზომის ერთეული	წლები			
		1980	1985	1990	2009
მელიორირებული მიწების ფართობი	ათ. ჰა	337,30	370,50	466,95	314,63

1990 წელს 406,30 ათას ჰექტარ ფართობზე წყლის ნორმირებულმა მოხმარებამ შეადგინა 3679,8 მლნ.მ³ (ნორმა – 4981 მ³/ჰა), ხოლო წყლით უზრუნველყოფა არ აღემატებოდა 3118,8 მლნ.მ³-ს, დეფიციტი შეადგენდა 561 მლნ.მ³-ს. შემდგომ წლებში წყლით უზრუნველყოფამ დაიკლო სარწყავი სისტემების მდგომარეობის გაუარესების გამო.

განსაკუთრებით დიდია წყლის დეფიციტი ზაფხულის პერიოდში, რაც გამოწვეულია მდინარეების ალაზნისა და იორის ჩამონადენის არასაკმარისი დარეგულირებით. ასევე არაა უზრუნველყოფილი წყლით ხრამის, დებერდის, ზემო ალაზნის, სამგორის, უდაბნოს და სხვა სარწყავი სისტემები. მიწების მთლიანი ფონდიდან, რომელიც მორწყვას საჭიროებს, მორწყვა მხოლოდ 25,3%. როგორც ვხედავთ, სარწყავი მიწათმოქმედება წყლის მნიშვნელოვან დეფიციტს განიცდის, ზოგიერთ რაიონში წყალუზრუნველყოფა ნორმაზე 10-16-ჯერ ნაკლებია. საჭიროა როგორც ჩამონადენის რაოდენობის ცვლილება, ისე წლიურ ციკლში მისი ტერიტორიებზე გადაანაწილება.

დასახული ღონისძიებების ეფექტურობა განისაზღვრება რიგი ფაქტორებით:

- სარწყავი მიწების ფართობის გაზრდა მთიანი რაიონების ხარჯზე, რომელთა დახრილობა მეტია 20-30°-ზე;
- თვითდინებით მორწყვის მოცულობის გაზრდა მაღალი საკომანდო ნიშნულით, მთის წყალსაცავების შექმნის ხარჯზე;
- მოცემული წყლის რესურსების გაზრდა მცირეწყლიანი პერიოდების ციკლებში;
- მორწყული მიწების გამოყენება, რომლებიც დატბორილია წყალდიდობის დროს, პიკური ხარჯების ლიკვიდაციისას კაშხლის ჰიდროკვანძის ქვემოთ.

წყალსაცავებიანი წყალსამეურნეო სისტემების ეფექტურობის გაზრდისა და გამოყენებისათვის უფრო მიზანშეწონილია რეგულირებადი მოცულობის გაზრდა, შესაბამისად, ჩამონადენის გაზრდით. სამწუხაროდ,

1991 წლიდან არსებითად შემცირდა წყალსაცავიანი ჰიდროკანქების მშენებლობის ტემპები, ხოლო ზოგიერთი სისტემა, პრაქტიკულად, მწყობრიდან გამოვიდა. საილუსტრაციოდ მოყვანილია დარეგულირებული ჩამონადენის მთავარი მაჩვენებლები საქართველოს წყალსაცავებისათვის (ცხრ. 2.5).

ცხრილი 2.5

წყალსაცავებით დარეგულირებული ჩამონადენის მთავარი მაჩვენებლები და მათი გამოყენება

№	წყალსაცავის დასახელება	წყალსაცავის მოცულობა, მლნ. მ ³		გამდინარების მოცულობა 50% W _{გამდ.} მლნ.მ ³	დარეგულირების მახასიათებლები		სასარგებლო წყალგაცემა წყალსაცავიდან, W _{მოშ.}		ჩამონადენის გამოყენების კოეფიციენტი
		სრული V _{სრ}	სასარგებლო V _{სახ}		$\frac{W}{W_{\text{ნად.}}}$	$\frac{W}{W_{\text{ნად.}}}$	წლიური მოცულობა მლნ.მ ³	უზრუნველყოფა %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ენერგეტიკული წყალსაცავები									
1	ჯვრის	1090	662	4640	0,235	0,143	4523,9	50	0,975
2	შაორის	90	87	128	0,703	0,679	1210,0	50	0,945
ირიგაციული და კომპლექსური წყალსაცავები									
1	ქინვალის	520	370	1373,7	0,378	0,269	1373,7	50	0,983
2	სიონის	325	300	342	0,95	0,877	333,6	50	0,974
3	თელეთწყლის	1,6	1,2	4,8	0,333	0,25	4,75	50	0,820
4	აღგეთის	65	60	130	0,50	0,461	59,7	50	0,459
5	მარაბდის	1,2	0,2	2,0	0,6	0,1	1,6	50	0,800
6	ზონკარის	40	39	302,4	0,132	0,129	105,0	50	0,347
7	ხრამის	312	212	308	1,01	0,948	246,0	50	0,799

ცხრილში არ არის მოცემული იმ წყალსაცავების მაჩვენებლები, რომლებიც იკვებება საირიგაციო არხებიდან და მათი მოცულობა ნაკლებია 1 მლნ.მ³-ზე და არ არის მონაცემები მათ სასარგებლო წყალგაცემაზე.

მდინარის ჩამონადენის გამოყენების კოეფიციენტი, ანუ შეფარდება სრული წყალგაცემისა გამდინარების მოცულობასთან, ხასიათდება ჩამონადენის სრული გამოყენებით ($\approx 0,9$), ძირითადად დასავლეთ საქართველოს ენერგეტიკულ წყალსაცავებში. ამ შემთხვევაში ჩამონადენის გამოყენების კოეფიციენტის მნიშვნელობა იზრდება

რეგულირებული მოცულობის ზრდასთან ერთად, ჩამონადენის გამოყენების მცირე კოეფიციენტები ირიგაციულ წყალსაცავებზე განპირობებულია გადინების მცირე მოცულობით ამ წყალსაცავებში.

საქართველოს მთისა და მთისწინა რეგიონების მდინარეები ხასიათდება მაღალი ენერგეტიკული პოტენციალით. გამოკვლევებით, პოტენციური სიმძლავრე შეადგენს დაახლოებით 18,4 მლნ.კვტ-ს, რაც შეესაბამება 160 მილიარდ კვტ.სთ. წელიწადში (ცხრ. 2.6).

ცხრილი 2.6

საქართველოს მთავარი მდინარეების პოტენციური ჰიდროენერგეტიკული რესურსების განაწილება

მდინარის აუზი	წყალშემკრები აუზის ფართობი კმ ²	საშუალო წლიური სიმძლავრე, ათ. კვტ	ჰიდროენერგეტიკული რესურსების პოტენციალური პროცენტი	ენერჯის საშუალო წლიური გამომუშავება მლნ.კვტ.სთ	ხვედრითი სიმძლავრე, ათ. კვტ/კმ	ხვედრითი ენერჯია, მლნ.კვტ.სთ/კმ
მტკვარი	18 243	2 581	14,1	22 605	3,32	1,24
რიონი	13 418	3 488	19,1	30 557	3,15	2,27
ენგური	4 062	2 402	13,2	21 039	6,84	5,18
კოდორი	2 036	1 542	8,5	13 509	7,78	6,65
ბზიფი	1 502	931	5,1	8 153	5,32	5,44
სულ	39 262	10 944	60,0	95 863	26,41	20,78

სიმძლავრეთა ასეთი კონცენტრაცია განაპირობებს ამ მდინარეებზე ჰიდროტექნიკური სისტემების შექმნას. 50%-იანი სრული ჰიდროტექნიკური პოტენციალი მოდის იმ მდინარეებზე, რომელთა ჰიდროტექნიკური სიმძლავრე მეტია 100 ათას კვტ-ზე, 15% – მცირე მდინარეებზე, რომელთა სიმძლავრე არანაკლებ 2 ათასი კვტ, ხოლო დანარჩენი 35% – საშუალო შენაკადებზე, 2 ათასიდან 100 ათას კვტ-მდე. საქართველოში ტექნიკური ჰიდროენერგეტიკული რესურსები მსხვილ და საშუალო მდინარეებზე შეადგენს 81 მილიარდ კვტ.სთ. წელიწადში. აქედან 73% განლაგებულია დასავლეთ საქართველოში, ხოლო 27% – აღმოსავლეთ საქართველოში (ცხრ. 2.7). სულ საქართველოს მდინარეების ჯამური ენერგეტიკული პოტენციალი შეადგენს 1340 ათას კვტ.სთ/კმ².

საქართველოს მდინარეების ენერგეტიკული პოტენციალის ცვალებადობა დამოკიდებულია მათი მთიანობის ხარისხზე.

**საქართველოს მდინარეების ენერგეტიკული
პოტენციალის განაწილება**

მდინარის აუზის დასახელება	ტექნიკური პოტენციალი მლრდ.კვტ.სთ/წელი	ტექნიკური რესურსის პროცენტი
მტკვარი	19,0	20,4
რიონი	13,4	14,2
ენგური	11,6	12,4
კოდორი	9,5	10,1
ბზიფი	4,7	5,0
სულ	58,2	62,1

მდ. რიონი – ზემო წელში მიეკუთვნება მთის მდინარეებს. ამ მონაკვეთში მდინარის ხვედრითი პოტენციური სიმძლავრე იცვლება 1000-დან 5000 კვტ-მდე გრძივ კილომეტრზე. შუაწელში თავმოყრილია მდინარის პოტენციური ენერჯის 80%, რომელიც ცალკეულ მონაკვეთებში აღწევს 7000 კვტ-ს გრძივ კილომეტრზე, ხოლო როცა მდინარე გამოდის კოლხეთის დაბლობზე, ენერჯია ეცემა 700 კვტ-მდე გრძივ კილომეტრზე.

მდ. ენგური – შესართავის მონაკვეთის გარდა, თითქმის მთელ სიგრძეზე მთის მდინარეებს მიეკუთვნება. ზემო წელში დაქანება აღწევს 40 მ-ს გრძივ კილომეტრზე, ხოლო ხვედრითი სიმძლავრე – 2000 კვტ-ს გრძივ კილომეტრზე. შუაწელში ხვედრითი სიმძლავრე იცვლება 7000-დან 14000 კვტ-მდე გრძივ კილომეტრზე, ხოლო შესართავის მონაკვეთში ეცემა 1000 კვტ-მდე გრძივ კილომეტრზე. მოცემულ ასპექტში მთელი მდინარე ეფექტურია ენერგეტიკული გამოყენების თვალსაზრისით.

ენგურის ჰიდროელექტროსადგური ყველაზე დიდი ელექტროსადგურია მთელ ამიერკავკასიაში. ენგურის ჰიდროკვანძის შექმნისას გამოყენებულ იქნა მდინარის ენერგეტიკული პოტენციალის თითქმის 50%. კაშხლის ქვევით მდინარის ჩამონადენი გადაადგებულია მდინარე ერისწყალში, სადაც აშენებულია კასკადური ტიპის ოთხი ვარდნილი ჰესი. კასკადის საერთო დაწნევა კაშხლის კვეთიდან გადაადგებამდე შეადგენს 500 მ, ხოლო კომპლექსური ჰიდროკვანძის სიმძლავრე შეადგენს 1640 მგვტ. გამოთვლების თანახმად, მდინარის სრული პოტენციალის გამოყენებით გამოიშავებული ენერჯის რაოდენობამ უნდა შეადგინოს 10 მლრდ. კვტ.სთ წელიწადში.

მდ. მტკვარი ერთ-ერთი უდიდესი წყლიანი არტერიაა მთელ ამიერკავკასიაში. მდინარის ჩამონადენი გამოიყენება საირიგაციოდ, პრაქტიკულად, რეგიონის მთელ ტერიტორიაზე. ენერგეტიკული გამოყენების თვალსაზრისით, პრაქტიკულ ინტერესს წარმოადგენს მდინარის ზემო წელი.

საქართველოში ექსპლუატირებული ჰესების მიერ გამოშუშავებული ენერგია 1990-იანი წლებისათვის შეადგენდა დაახლოებით 8,26 მლრდ. კვტ.სთ-ს წელიწადში, ხოლო ჰესების ჯამური სიმძლავრე 2,376 მლნ კვტ-მდე იყო. ამასთან, გამოუყენებელი რჩებოდა სიმძლავრე, რომელიც იგეგმებოდა სარეალიზაციოდ, 2,984 მლნ კვტ-მდე. საქართველოს ენერგეტიკული რესურსები არა მარტო აკმაყოფილებდა ქვეყნის სამომხმარებლო ბაზარს, არამედ იძლეოდა ეკონომიკური პოტენციალის გაზრდის შესაძლებლობას ენერგორესურსების გაყიდვის ხარჯზე.

წყალსამეურნეო სისტემების ნაგებობების კასკადებმა წყალსაცავებით მდინარეებზე ენგურზე, რიონზე და სხვ. უნდა გააუმჯობესოს სამედიორაციო მიწების მდგომარეობა, უზრუნველყოს კოლხეთის დაბლობის ტერიტორიების დაცვა წყალდიდობებისაგან და გაზარდოს ელექტროენერჯის წლიური გამოშუშავება რამდენიმე მილიარდი კილოვატ-საათით.

არანაკლებ საყურადღებოა მთის წყალსაცავების მნიშვნელობა წყალდიდობებსა და წყალმოვარდნებთან ბრძოლის დროს. წყალმოვარდნის ტალღის მოცულობა, საშუალოდ, განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$W = \frac{\bar{Q}}{n} t, \text{ მ}^3 \quad (2.1)$$

სადაც Q – საშუალო საათობრივი ხარჯების ჯამია; t – დრო (წმ); n – ინტერვალების რაოდენობა.

მაგალითად, სიონის წყალსაცავზე წყალმოვარდნის ტალღის მოცულობა, 10000 უზრუნველყოფით, შეადგენს $92,4 \cdot 10^6$ მ³, ხოლო 1000 უზრუნველყოფით – $70,2 \cdot 10^6$ მ³. განხილული პირობები განაპირობებს ჩამონადენის რეგულირების აუცილებლობას წყლის რესურსების გამოყენების ყველა შემთხვევაში.

საქართველოს ენერგოსისტემის დადგენილი სიმძლავრეები 1990 წლისათვის შეადგენდა 4050 მგვტ-ს. აქედან ბაზისური თბოელექტროსადგურების წილი იყო 1550 მგვტ. ამასთან, შეიმჩნეოდა ბაზისური ენერგოსისტემების სიმძლავრეების საშუალო თვიური დეფიციტი, რომელიც 1600 მგვტ-ს შეადგენდა. დეფიციტის ლიკვიდაცია შეიძლებოდა ქვეყნის წყლის რესურსების გამოყენებით, რადგან საქართველოს მდინარეთა პოტენციური სიმძლავრე შეადგენს 18,3 მლნ.კვტ-ს, რაც

შეესაბამება 159,4 მილიარდ კვტ.სთ/წელი პოტენციურ ენერჯიას.

დიდი და საშუალო მდინარეების ტექნიკური ჰიდროენერგეტიკული რესურსები შეადგენს 81 მილიარდ კვტ.სთ-ს წელიწადში, საიდანაც 73% მოდის დასავლეთ საქართველოზე (52 მილიარდი კვტ.სთ) და 27% – აღმოსავლეთ საქართველოზე (22 მილიარდ კვტ.სთ).

მდ. რიონის ენერგეტიკა უფრო ინტენსიურად არის ათვისებული. ექსპლუატაციაშია 400 მგვტ-ზე მეტი სიმძლავრის ჰესი, გამომუშავებით 2 მლრდ. კვტ.სთ. გათვალისწინებულია ხუთი ჰესის მშენებლობა, რომელთაგან დაპროექტებულია ორი კასკადური ტიპის ჰესი. ჰესების მშენებლობის შემდეგ მთლიანმა გამომუშავებამ უნდა შეადგინოს 4,56 მლრდ. კვტ.სთ წელიწადში.

ენგურის კასკადში შესულია ყველაზე დიდი ჰიდროკვანძი ამიერკავკასიაში – ენგურჰესი ოთხი ვარდნილი ჰესით მდ. ერისწყალზე, სიმძლავრით 1640 მგვტ. გათვალისწინებული იყო შექმნილიყო კასკადი ხუთი ჰესით, მთლიანი გამომუშავებით დაახლოებით 3,435 მლრდ. კვტ.სთ/წელი.

ასევე გათვალისწინებული იყო შექმნილიყო ჰესები მდინარეებზე მტკვარზე და კოდორზე.

აღსანიშნავია ჰიდროკვანძის შექმნის პერსპექტივა მთის და მთის-წინა ადგილებში, უფრო ეფექტურად გამოსაყენებელი და გარემო პირობების ნაკლებად დამრღვევი. დაბლობი რეგიონების მიწის დატბორვის ხვედრითი ფართობი შეადგენს დაახლოებით 36 ჰა/მლნ.კვტ.სთ, ხოლო სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების – 15,5 ჰა/მლნ.კვტ.სთ, მაშინ, როცა მთის სადინარებზე იგი არ აღემატება 1,4 და 3,5 ჰა/მლნ.კვტ.სთ.

საქართველოს ხვედრითი წყალუზრუნველყოფის კრებსითი მაჩვენებლები მოყვანილია ცხრილში 2.8.

მთის წყალსაცავების რენტაბელობის ეკონომიკური დასაბუთების ძირითად პრინციპად მიღებული უნდა იყოს სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგში (მელიორაცია, ენერგეტიკა, მეთევზეობა, მეურნეობის წყალდიდობისაგან დაცვა, რეკრეაცია და სხვ.) წყალსაცავების გამოყენების შესაძლებლობა.

მთის წყალსაცავების ეკონომიკური შეფასების შედეგები:

- წყალსაცავების სანიტარული მდგომარეობის გაუმჯობესება, რომელიც მოიცავს სანაპირო ზოლის სტაბილიზაციისათვის საჭირო დანახარჯებს. წყალსაცავის ენერგეტიკული მოხმარებისას შესაძლებელია ამ დანახარჯების შევსება ელექტროენერჯიის საფასურის გაზრდის ხარჯზე;

საქართველოს ხვედრითი წყალუზრუნველყოფის კრებისითი მაჩვენებლები
საშუალო წელიწადის დროს წელიწადში

№	მაჩვენებლის დასახელება	განზო- მილება	ს ა ქ ა რ თ ვ ე ლ ო		
			დასავლეთი	აღმოსავლეთი	სულ
1	ადგილობრივი ჩამონადენი	კმ ³	42,9	13,5	56,4
2	ტრანზიტული ჩამონადენი	კმ ³	6,57	2,17	8,74
3	საერთო ჩამონადენი	კმ ³	49,44	15,70	65,14
4	ტერიტორია (ფართობი)	კმ ²	32400	37300	69700
5	ტერიტორიაზე განაწილება	ათ.მ ³ /კმ ²	1525,9	490,91	2016,81
6	წყალსაცავში აკუმუ- ლირებული წყლის მთლიანი მოცულობა	მლნ. მ ³	1497,1	1991	3488,1
7	ირიგაციული წყალ- საცავების სასარგებლო მოცულობა	მლნ. მ ³	1,85	753,7	755,55
8	წყალსაცავებზე მიბმუ- ლი მიწების ფართობი	ათასი ჰა	0,4	157,96	158,36
9	სარწყავი მიწების უზ- რუნველყოფა წყალსა- ცავიდან	მ ³ /ჰა	4265	4771	4598 (საშუალო)
10	წყალსაცავიანი ჰესები- დან ენერჯის მთლიანი გამომუშავება	მლნ. კვტ.სთ	6836	902	7738

- მთის პირობებში ძირითადი ფონდების აღსადგენი დანახარ-
ჯები უმნიშვნელოა;
- მთიან რეგიონებში დატბორილი მიწების შეფასება საკმაოდ
რთულია. მიზანშეწონილია მიწების შემცირების კომპენსაცია
სოფლის მეურნეობის წარმოების ინტენსიფიკაციით და,
აგრეთვე, სასოფლო-სამეურნეო მიწების ბრუნვაში ჩართვით.
მხედველობაში მიიღება არა დატბორილი მიწის ფართი,
არამედ მელიორირებით შესატყვისად დამუშავების შემდეგ
პროდუქციის ნამატი.

ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების
დატბორვის სიდიდე მთიან რეგიონებში, მის საერთო ფართობს შედა-
რებით, მცირეა და სრულიად შესაძლებელია შეივსოს სამელიორაციო

სამუშაოების ინტენსიფიკაციით.

მოცემული მაჩვენებლებით მთის წყალსაცავები გაცილებით რენტაბელურია, განსაკუთრებით ენერგეტიკული მოხმარებისათვის.

პროდუქციის ბალანსის აღსადგენი საკომპენსაციო დანახარჯები განისაზღვრება ახალი მიწების ათვისებით, მელიორაციული ღონისძიებების ღირებულებით ან გამოყენებული მიწების ძირფესვიანი გაუმჯობესებით, რაც უზრუნველყოფს სასოფლო-სამეურნეო წარმოების სრულ აღდგენას.

- მთის პირობებში განსაკუთრებულ ჯგუფს ქმნის ფილტრაციის ლიკვიდაციის ღონისძიებები. დანახარჯებში, გარდა ფილტრაციის ლიკვიდაციისა, გათვალისწინებული უნდა იყოს ჩამონახვავი და მეწყრული კერების სტაბილიზაციაზე გაწეული ხარჯები;
- ქვედა ბიეფში საკომპენსაციო დანახარჯების შემადგენლობაში უნდა შედიოდეს: წყლის რესურსების გამოყენების შეზღუდვებით გამოწვეული დანაკარგები და დამატებითი ხარჯები დამცავი ნაგებობების მშენებლობისათვის, რომლებიც თავიდან აიცილებს კალაპოტების გარეცხვას. თუ წყალსაცავის აშენებამდე კალაპოტის მდგომარეობა ქვედა ბიეფში სტაბილურია, მაშინ სრული დანახარჯები შეესატყვისება საკომპენსაციოს. დანარჩენ შემთხვევებში საკომპენსაციო დანახარჯების განსაზღვრად აუცილებელია საკომპენსაციო ღონისძიებების ვარიანტების ღირებულების გაანგარიშება.

საყოფაცხოვრებო პირობების ცვლილებების განხილვისას აუცილებელია განისაზღვროს კალაპოტისა და ნაპირების გარეცხვის ინტენსიფიკაციის შესაძლებლობა.

მთის წყალსაცავების სპეციფიკა, რომელიც მდგომარეობს წყალსატევის ინტენსიურ დაღეჟვაში, მოითხოვს დამატებითი სამუშაოების ჩატარებას:

- შეიზღუდოს ტყის ჩეხვა და ციცაბო ფერდობების ათვისება სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსაყვანად;
- განხორციელდეს ფიტომელიორაციული სამუშაოები, როგორც თვით წყალსაცავის აუზში, ისე მდინარის აუზშიც (კაშხლის ზევით), რომელიც კვებავს წყალსაცავს;
- შესრულდეს ჩამონახვავისა და ჩამონაქცევის საწინააღმდეგო ღონისძიებები წყალსაცავის აუზში;
- გამოვლინდეს ღვარცოფული კერები, როგორც წყალსაცავის აუზში, ისე მის მკვებავ მდინარის აუზში, წყალსაცავის ზემოთ და ჩატარდეს ღვარცოფების ასაცილებელი ღონისძიებები.

ყველა ამ ღონისძიების ჩატარება მოითხოვს დანახარჯების განსაზღვრას, რომლებიც საკომპენსაციო დანახარჯებს უნდა მივაკუთვნოთ.

საქართველოს ტერიტორია მდიდარია ისტორიული და უძველესი კულტურული ძეგლებით. წყალსამეურნეო სამუშაოების დროს ეს ძეგლები ხვდება დატბორვისა და ნგრევის ზონაში. ამ კულტურის ძეგლების გამოსავლენად, გადასატანად და ახალ ადგილზე აღსადგენად საჭიროა დანახარჯები, რომელთა აღრიცხვაც აუცილებელია.

თავი 3. საქართველოს მთის წყალსაცავების ზემოქმედება ბარემოზე (ნატურული კვლევების შედეგები)

მთის წყალსაცავების შექმნისას შეიმჩნევა მიკროკლიმატის (ეკო-კლიმატის) შეცვლა, უპირატესად წყალსატევზე და სანაპირო ზონის მცირე ტერიტორიაზე, რადგან წყალსაცავის კლიმატზე გავლენის ზონის ზომები დამოკიდებულია წყლის სარკის ფართობზე, მოცულობაზე, რაიონის ფიზიკურ-გეოგრაფიულ მდგომარეობაზე და მის ადგილმდებარეობაზე. მთის წყალსაცავების კლიმატზე ზემოქმედების სიგანის ზღვრული არ აღემატება 1÷4 კმ-ს. ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა იცვლება 0,5÷2°-ის საზღვრებში. ჰაერის სინოტივე იზრდება 2÷4%-ით, ნალექების საშუალო რაოდენობა – 3÷5 მმ.

რაიონებში, სადაც ცხელი კლიმატია, მთის წყალსაცავების შექმნას დადებითი მნიშვნელობა აქვს. ის გამოიხატება მაქსიმალური ტემპერატურის დაწევაში, სინოტივის ზრდაში, დამტვერიანების შემცირებაში და სხვ.

წყალსაცავების შექმნა მთის და მთისწინა რეგიონებში კლიმატური მაჩვენებლების დროით ციკლში უმნიშვნელო ცვლილებებს იწვევს. პრაქტიკულად არ შეიმჩნევა ნიადაგის საფარის ტრანსფორმაცია და ფლორისა და ფაუნის შეცვლა მიმდებარე ტერიტორიაზე.

მრავალწლიანი გამოკვლევებისა და სამეცნიერო-ტექნიკური ლიტერატურის ანალიზმა [Авакян А.Б., Воропаев Г.В., 1986; Варазашвили Н.Г., 2002] ამ მონოგრაფიის ავტორებს უფლება მისცა დაემუშაებინათ წყალსაცავის გარემოზე ზეგავლენის ტერიტორიული კლასიფიკაცია [Иордანიшвили И.К., Иордანიшвили К.Т., 1976-2008].

1. წყალსაცავის რაიონი შეიძლება გავყოთ ორ ქვერაიონად:
 - ა) წყალსაცავის ტაფობი;
 - ბ) მოცემული წყალსაცავის მიმდებარე ტერიტორიის სხვადასხვა ზონაზე პირდაპირი და ირიბი ზეგავლენის საზღვრები (ჰიდროლოგიური, ჰიდროგეოლოგიური, კლიმატური, ბიოლოგიური).
2. წყალშემკრები აუზის რაიონი ქვერაიონებით:
 - ა) მდინარეები, რომლებიც ჩაედინება წყალსაცავში და რომლებზეც აუცილებლად აისახება მისი ზემოქმედება;

ბ) წყალშემკრები ფართობი, რომელზეც წყალსაცავს უმეტესად ირიბი ზეგავლენა აქვს.

3. ქვედა ბიეფის რაიონი, სადაც იცვლება ჩამონადენის თხევადი, მყარი, ქიმიური და ბიოლოგიური რეჟიმი. მოიცავს მდინარეს, მის ხეობას, დელტას და წყალმიმდებს.

4. რაიონი, სადაც წყალსაცავის ხარჯზე არის წყლის რესურსების მატება და მათი გამოყენება (სარწყავი და გაწვლოვანებული მასივები).

მთითებულ რაიონებში მთის წყალსაცავების ზემოქმედების თავისებურება შემდეგში გამოიხატება:

ბუნებრივი პირობების შეცვლა ზედა ბიეფში წყალსაცავის ექსპლუატაციის რეჟიმით, მისი მორფომეტრიით და კონფიგურაციით, ტაფობის მორფოლოგიით, ამგები ქანების შემადგენლობით.

მდინარის ხეობის ქვედა ბიეფში ბუნებრივი პირობების ხასიათისა და სიღრმის შეცვლა დამოკიდებულია ჩამონადენის რეგულირების ხარისხზე და სახეობაზე.

ბუნების შეცვლის მრავალფეროვნება და ინტენსიურობა ბევრადაა დამოკიდებული თვით წყალსაცავის თავისებურებაზე. გარემოს შეცვლა ვლინდება ლითოსფეროში, ჰიდროსფეროში, ატმოსფეროში, ბიოსფეროში და აისახება მათ ყველა ელემენტში – გეოდინამიკაში (სეისმურში), რელიეფში, ჰიდროგეოლოგიაში, ჰიდროლოგიაში, კლიმატურ პირობებში.

მთის წყალსაცავების შექმნისას გარემოს შეცვლას აქვს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი ხასიათი. წყალსაცავების დაპროექტების, მშენებლობისა და ექსპლუატაციის დროს პრაქტიკული ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ რაც შეიძლება შევამციროთ უარყოფითი შედეგები (პარამეტრების ამორჩევით, ჰიდროკვანძის ექსპლუატაციის რეჟიმით, დამცავი ღონისძიებების განხორციელებით).

მთის წყალსაცავების გავლენა მიმდებარე ტერიტორიის ბუნებრივ პირობებზე, როგორც წესი, უკვე არსებული ბუნებრივი პროცესების ზემოქმედების საზღვრებშია. სანამ გადავალთ მთის წყალსაცავების გარემოზე ზემოქმედების ცალკეული ასპექტების განხილვაზე, განვიხილოთ ახალი ტერმინოლოგია, რომლის გამოყენებაც მიგვიყვანს პრობლემის გამოკვლევის ახალ სამყაროში.

3.1. წყალსაცავების „გარემოს დაცვის“ თანამშრომლობა

ბუნებისა და მისი რესურსების დაცვის საერთაშორისო კავშირი დაარსდა 1948 წელს და მისი მთავარი ოფისი მდებარეობს ქ. მორჟეში (შვეიცარია). კავშირის მიზანია აწარმოოს სამეცნიერო მუშაობა, რომელიც უზრუნველყოფს ცოცხალი სამყაროს – ადამიანის ბუნებრივი გარემოს – და ბუნებრივი რესურსების ხანგრძლივ არსებობას ეკონომიკური და სოციალური მნიშვნელობის გათვალისწინებით.

ბუნების დაცვის მსოფლიო ფონდი – საერთაშორისო საქველმოქმედო ორგანიზაციაა, რომელიც ზრუნავს ეკოლოგიური სისტემებისა და მსოფლიო ფაუნის დაცვის საკითხებზე და საამისოდ ახორციელებს მრავალფეროვან პროგრამას. ბუნების დაცვის მსოფლიო ფონდი დაარსებულია 1961 წელს შვეიცარიის კანონმდებლობის საფუძველზე; მისი მთავარი ოფისი აგრეთვე ქ. მორჟეშია.

1961 წლიდან ბუნების დაცვის საერთაშორისო კავშირი მონათესავე ორგანიზაციებთან მჭიდრო კონტაქტშია, თანამშრომლობს მათთან.

ეს პროექტები მოიცავს საკითხების ფართო წყებას – განათლებას, ეკოლოგიურ გამოკვლევებს და ითვალისწინებს ფინანსურ დახმარებას ზოგიერთი წამყვანი ორგანიზაციისათვის, რომლებიც მოქმედებენ ბუნების დაცვის ინტერესებისათვის საერთაშორისო მასშტაბით.

1977 წელს თბილისში გაიმართა პირველი სამთავრობათაშორისო კონფერენცია გარემოს დაცვის დარგში განათლების საკითხებზე, რომელიც მოიწვია იუნესკომ გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის გარემოს დაცვის პროგრამასთან თანამშრომლობით. კონფერენციამ განიხილა ბუნების დაცვის საგანმანათლებლო და აღმზრდელობით მუშაობასთან დაკავშირებულ საკითხთა ფართო წრე და მიიღო თბილისის დეკლარაცია გარემოს დაცვის დარგში.

თბილისის კონფერენციაზე გაშუქდა საერთაშორისო კავშირის მუშაობა ბუნების დაცვის ტერმინთა მრავალენოვანი ლექსიკონის მოსამზადებლად, რომელიც 1976 წელს გამოქვეყნდა ქ. მორჟეში (შვეიცარია). ქართული ტექსტის შესადგენად მუშაობდნენ საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ბუნების დაცვის კომისიის წევრები გ.პ. ენუქიძე და კ.დ. მამისაშვილი.

ბუნების დაცვა დღეს საერთაშორისო საქმეა, რომელიც მოიცავს ბუნებრივი რესურსების გონივრული და ფრთხილი გამოყენების, გარემოს სისუფთავეზე კონტროლის, ბუნების დაცვის, იშვიათი და მოსპობის გზაზე მდგარ მცენარეთა და ცხოველთა სახეობების შენარჩუნების, გენეტიკური რესურსების დაცვისა და მრავალ სხვა საკითხს. ბუნების დაცვა შეიძლება განიმარტოს, როგორც „გარემოს იმ ნაწილის

რაციონალური გამოყენების პრინციპები და მეთოდები, რომლებიც შედგება ბუნებრივი კომპონენტებისაგან (ჰაერი, წყალი, ნიადაგი, ორგანიზმები), კაცობრიობის ახლანდელი და მომავალი ინტერესებისათვის გამოსაყენებლად მათი პოტენციალის შენარჩუნების გზით“.

თვით ცნება „ბუნების დაცვა“ XX საუკუნის განმავლობაში გაფართოვდა როგორც შინაარსით, ისე მოცულობით. წყვეტს რა პრევენციული გეგმის ამოცანებს – ადამიანის ისეთი მოქმედების თავიდან აცილებას, რომელიც პირდაპირ ზიანს აყენებს ადამიანის ბუნებრივი გარემოცვის ობიექტებს, ბუნების დაცვა ამჟამად მიმართულია იქით, რომ ადამიანი თვითონ აქტიურად ქმნიდეს ისეთ გარემოს, რომელშიც ორგანიზმად იქნება შერწყმული როგორც მისი ნამოქმედარი, ისე ბიოსფეროს თვითრეგულირებადი ელემენტები (კომპონენტები).

სისტემატიზირებული ბუნების დაცვის ტერმინოლოგია, რომელიც აუცილებელია წყლის რესურსების ეკოლოგიის დაცვის საკითხების გამოსაკვლევად, შემდეგია:

ზოგადი ცნებები

აბიოტური გარემო – არაცოცხალი გარემოს ფიზიკური და ქიმიური პირობები;

აბიოტური ფაქტორი – ზეგავლენა, რომელსაც ახდენს ორგანიზმზე (ორგანიზმებზე) გარემოს ფიზიკური და ქიმიური პირობები;

ადგილსამყოფელი – 1) აბიოტური და ბიოტური პირობების ერთობლიობა, რომელშიც ცხოვრობს ინდივიდი ან პოპულაცია, 2) გარემოს ერთეული ნაკვეთი იმავე პირობებით;

ანთროპოგენური ლანდშაფტი – ლანდშაფტი, რომლის ფორმა და გარეგანი თვისებები წარმოადგენს ადამიანის ზემოქმედების შედეგს;

ანთროპოგენური ფაქტორი – ზეგავლენა, რომელსაც ადამიანი თავისი საქმიანობით ახდენს ორგანიზმზე, ბიოტურ თანასაზოგადოებაზე ან ლანდშაფტზე;

არაადგენადი ბუნებრივი რესურსები – ბუნებრივი რესურსები, რომელთაც არ აქვს თვითაღდგენის უნარი;

არეალი – ბიოსფეროს ნაწილი, რომლის ფარგლებშიც არის გავრცელებული ცოცხალი და არაცოცხალი სახეობა;

ადკვეთილი – ბუნებრივი კომპლექსის ერთი ან რამდენიმე კომპონენტის დასაცავად გამოყოფილი ბუნების მონაკვეთი, რომლის ფარგლებში აკრძალული ან შეზღუდულია მოქმედების ცალკეული სახეები;

ბიომი – ბიოტური თანასაზოგადოება – იმ ურთიერთდაკავშირებული ორგანიზმების თანასაზოგადოება, რომლებიც ცხოვრობენ ხმელეთის ან წყალსაცავის გარკვეულ მონაკვეთზე;

ბიოსფერო – ფენა, რომელიც გარს არტყია დედამიწას, შეიცავს ცოცხალ ორგანიზმებს, რომლებიც გავლენას ახდენენ მის შემადგენლობაზე, სტრუქტურასა და ენერგეტიკაზე;

ბიოტოპი – გეოგრაფიული გარემოს უმცირესი მონაკვეთი, რომელიც დასახლებულია მცენარეთა (ან ცხოველთა) თანასახოგადობით და ხასიათდება გარემოს ერთგვაროვნობის მაღალი ხარისხით;

ბიოტური ფაქტორი – ზეგავლენა, რომელსაც განიცდიან ორგანიზმებისაგან;

ბიოცენოზი – ეს არის ერთგვაროვანი ბუნებრივი ელემენტების ერთობლიობა დედამიწის ზედაპირის გარკვეულ მონაკვეთზე (ატმოსფერო, მთის ქანები, ჰიდროლოგიური პირობები, მცენარეულობა, ცხოველთა სამყარო, მიკროორგანიზმები და ნიადაგები);

ბუნების დაცვა – გარემოს იმ ნაწილის რაციონალური გამოყენების პრინციპები და მეთოდები, რომლებიც შედგება ბუნებრივი კომპონენტებისაგან (ჰაერი, წყალი, ნიადაგი, ორგანიზმები), კაცობრიობის ახლანდელი და მომავალი ინტერესებისათვის;

ბუნების დაცული ობიექტები – ბუნებრივი გარემოს ნებისმიერი ნაწილი, რომელსაც იცავენ;

ბუნების დაცული ნაკვეთი – ბუნების ნაკვეთი, რომლის ყოველგვარი გამოყენება, რაც შეუთავსებელია მისი დაცვის მიზნებთან, შეზღუდულია ან აკრძალულია კანონით;

ბუნებრივი ლანდშაფტი – ლანდშაფტი, სადაც შემონახულია მისი პირვანდელი ბუნება და არსებითად არ შეცვლილა ადამიანის მოქმედების შედეგად;

ბუნებრივი, პირველადი, ხელუხლებელი თანასახოგადობა – ბიოტური თანასახოგადობა, რომელიც არსებითად არ შეცვლილა ადამიანის ზემოქმედების შედეგად;

ბუნებრივი ფაქტორები – ორგანიზმზე, მოქმედი ბიოტური და აბიოტური ფაქტორების ერთობლიობა, ჩვეულებრივ, ადამიანის გავლენის გამორიცხვით;

ბუნებრივი რესურსები – ბუნებრივი გარემოს როგორც აღდგენადი, ისე არააღდგენადი შემადგენლობის ერთობლიობა, რომლებიც გამოიყენება ან შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ადამიანის მიერ (მაგ.: ტყე, ცხოველთა სამყარო, მინერალები, წყალი, მიწა, ჰაერი) ან არამატერიალური (მაგ.: ლანდშაფტი);

ბუფერული (დაცვის) ზონა – ზონა, რომლის ფარგლებში აკრძალულია ყოველგვარი მოქმედება, რაც ზიანს მოუტანს ზონის მიზნების განხორციელებას;

ვაშიზნული რეჟიმის ნაკრძალი – ბუნების დაცული ნაკვეთი, რომლის სასურველ მდგომარეობაში შენარჩუნება მოითხოვს ადამიანის

განსაკუთრებულ ჩარევას;

გამჭუჭყიანებელი – გაჭუჭყიანების გამოძვევი ნივთიერება ან ენერჯის სახეობა;

გარემო – თავდაპირველად ის, რაც გარს არტყია ორგანიზმს ან ორგანიზმებს. ამჟამად ტერმინი, ჩვეულებრივ, იხმარება შედარებით უფრო ფართო მნიშვნელობით: პირობათა ერთობლიობა, რომლებიც გარს არტყია ადამიანს და ზეგავლენას ახდენს მასზე (ამ მნიშვნელობით ტერმინი ეკვივალენტურია „ადამიანის გარემოსი“ და გამოიყენება როგორც უშუალოდ გარემოსათვის, ისე მთლიანად ბიოსფეროსათვის;

გარემოს ხარისხი – გარემოს მდგომარეობის საზომი, ორგანიზმების, მათ შორის ადამიანის, ფიზიკურ და ფსიქიკურ ჯანმრთელობაზე მისი ზემოქმედების გათვალისწინებით, ადამიანის ჩათვლით;

გაწმენდა – საშიში ან არასასურველი კომპონენტების მოშორება ჩამონადენი წყლებიდან, გადანაყარიდან და ნარჩენებიდან;

გაჭუჭყიანება – ყოველგვარი ნივთიერების (მკვრივი, თხევადი ან აირისებრი) ან ენერჯის სახეობის (სითბო, ბგერა, რადიოაქტივობა) გარემოში მოხვედრა იმ ოდენობით, რომელიც დასაშვებ დონეს აღემატება;

დალაშქვა – მდგარ ან ნელა მიმდინარე წყალში წვრილმარცვლოვანი ნაწილაკების დაღეჭვა;

დაღეჭვა – მდგარ ან ნელა მიმდინარე წყალში მსხვილმარცვლოვანი ნაწილაკების დაღეჭვა;

დასიღვა – წყალში სილის დაღეჭვა;

დაცვა – ღონისძიება, რომელიც მიმართულია გარემოს ბიოტური და აბიოტური ობიექტისათვის მოსალოდნელი ზიანის თავიდან ასაცილებლად;

ევზოგენური პროცესები – პროცესები, რომლებიც განპირობებულია გარე მიზეზებით (წყალსაცავში წყლის მოცულობით, ქარით, ტალღური მოვლენებით და სხვ.);

ევტროფიკაცია – წყალსატევის გამდიდრება, რომლის შედეგად იცვლება მისი ბიოტური თანასაზოგადოებები, ჩქარდება ორგანულ ნივთიერებათა ზრდა და ირღვევა ჩამოყალიბებული ეკოსისტემები. ამჟამად ტერმინი ხშირად იხმარება ადამიანის ზემოქმედების შედეგად წყალსატევის სწრაფი გამდიდრების აღსანიშნავად;

ენდოგენური პროცესები – პროცესები, რომლებიც განპირობებულია დედამიწის შიდა ძალებით (ტექტონიკურით, ვულკანებით, მიწისძვრით და სხვ.);

ეკოლოგია (ბერძ. „oikos“ – სახლი, საცხოვრებელი + logos) – მეცნიერების დარგი, რომელიც შეისწავლის ცხოველების, მცენარეების, მიკროორგანიზმებისა და სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტების

გარემოსთან ურთიერთობას;

ეკოლოგიური ნიში – სახეობის მიერ დაკავებული ადგილსამყოფელის უმცირესი დანაყოფი;

ეკოლოგიური წონასწორობა – დინამიკური წონასწორობის მდგომარეობა, რომლის დროსაც სისტემის შემადგენელ პოპულაციებს აქვს ტენდენცია შეინარჩუნოს რაოდენობა ან მისი ცვალებადობის დონე რომელიმე საშუალო მნიშვნელობის ფარგლებში;

ეკოსისტემა – ცოცხალი და არაცოცხალი ორგანიზმების აბიოტური გარემოს ურთიერთდაკავშირებული სისტემა;

ეკოციდი (ბერძ. „oikos“ – სახლი, საცხოვრებელი + ლათინ. „caedio“ – ვანადგურებ) – ხალხის ადგილსამყოფელის გარემოს განადგურება სხვადასხვა გამანადგურებელი მეთოდებით;

ეროვნული პარკი – შედარებით ფართო ტერიტორია, რომლის ბუნებრივი პირობები არსებითად არ შეცვლილა ადამიანის ზემოქმედებით და რელიეფის ფორმა, ფაუნა, ფლორა, ბინადრობისა და აღმოცენების ადგილები იწვევს დიდ ინტერესს ანდა განსაკუთრებით თვალწარმტაცია;

ზოოცენოზი – ცხოველებისაგან წარმოქმნილი ბიოცენოზის ნაწილი;

თვითგაწმენდა – ფიზიკურ-ქიმიური და ბიოლოგიური პროცესი წყალში არსებული ნარჩენების გადაქცევისა უვნებელ ნაერთებად, რომლებიც ჩვეულებრივია ბუნებაში;

კონცენტრაციის დასაშვები უკიდურესი ზღვარი – გარემოში გამჭუჭყიანებელი ნივთიერებების მაქსიმალური დოზა, რომელიც გარკვეული ორგანიზმებისათვის ითვლება უვნებლად (უფლებრივი ნორმა ანუ რეკომენდაცია);

ლანდშაფტის მართვა – სხვადასხვა ხერხისა და საშუალებების გამოყენება ნიადაგის, მცენარეულობის, ცხოველთა სამყაროსი და ლანდშაფტის, წყლის რესურსების შენარჩუნების ან მათი მიზანდასახული შეცვლის სასურველი მიზნის მისაღწევად;

მონიტორინგი – ცვლადი სიდიდის რეგულარული გაზომვა მიღებულ ნორმასთან მისი შედარების მიზნით (გარემოს ფაქტორების გასაზომად);

მყარი ჩამონადენი – მიმდინარე წყლის მიერ (მდინარეებით) გადატანილი მინერალური ან ორგანული მასალის მკვრივი ნაწილაკები;

ნაკრძალი – ბუნების ნაკვეთი და დაწესებულება, რომელიც ჩამოყალიბებულია ბუნებრივი კომპლექსის დასაცავად და შესასწავლად;

ნიადაგის ეროზია – ნიადაგის ნაწილაკების ჩამოშლა ქარის ან წყლის ზემოქმედების შედეგად;

რაიონული დაგეგმვა – გეგმების შედგენა ბუნებრივი გარემოს

ყველაზე უკეთ გამოყენებისათვის, რაც გულისხმობს ეკონომიკური განვითარების, ადამიანთა განსახლებისა და გარემოს დაცვის გეგმებს გარკვეულ რაიონში;

სავარგულების დაცვა – სხვადასხვა ხერხისა და საშუალების გამოყენება ადგილსამყოფელის დაცვის, გაუმჯობესებისა და მიზანდასახული შეცვლისათვის;

სოციალური ეკოლოგია – სოციოლოგიის განაყოფი, რომელიც შეისწავლის ადამიანისა და გარემოს ურთიერთობას;

სრული ნაკრძალი – ბუნების დაცული ნაკვეთი, რომელზეც მთლიანად გამორიცხულია ადამიანის ყოველგვარი ჩარევა, გარდა მკაცრად კონტროლირებული სამეცნიერო გამოკვლევებისა, რომლებიც გავლენას არ ახდენს დაცულ ობიექტზე;

ტერიტორიული დაგეგმვა – ღონისძიებები ტერიტორიის გამოყენების შესახებ გადაწყვეტილებათა მოსამზადებლად ამ ტერიტორიის სხვადასხვა მიზნისათვის მისი მნიშვნელობის და შესაძლებლობების შესწავლისა და შეფასების საფუძველზე;

ფიტოცენოზი – მცენარეულობისაგან წარმოქმნილი ბიოცენოზის ნაწილი;

წყალქვეშა პარკი – წყლის ღონის ყველაზე ზედა ზღვიდან ფსკერამდე არსებული ზონა, სადაც დაცულია წყალსატევის ფსკერისა და წყლის ფენების თანასაზოგადოება;

წყლით უზრუნველყოფა – საყოფაცხოვრებო, სასოფლო-სამეურნეო, საწარმოო მიზნებისათვის ან გარეული ცხოველებისა და მცენარეებისათვის გამოსაყენებლად მისაწვდომი წყლის რაოდენობა;

წყლის მეურნეობა – წყლის რესურსების მოხმარების რეგულირების მიზნით ტექნიკური საშუალებებისა და ხერხების გამოყენება, მათ შორის დაცვა ნგრევისაგან, რასაც იწვევს წყლის უკონტროლო გადაადგილება;

ხამდინარე წყლები – წყლები, რომლებიც გაჭუჭყიანებულია საყოფაცხოვრებო, სამრეწველო ან სასოფლო-სამეურნეო მიზნით მათი გამოყენების შედეგად;

შენარჩუნება – ღონისძიება გარემოს ობიექტის დღევანდელ მდგომარეობაში შესანარჩუნებლად.

წყალსაცავების ეკოსისტემის შესწავლა შეიძლება ოთხ ეტაპად გაყოთ. უმნიშვნელოვანესია კვლევის პირველი ეტაპი, როდესაც კვლევა-ძიება მიმართულია ნაგებობის მშენებლობაზე. დადებით შემთხვევაში საჭირო პროექტის შედგენა და ობიექტის მშენებლობა (მეორე ეტაპი). მესამე ეტაპი იწყება კაშხლის მშენებლობის დამთავრებისა და წყალსაცავის შევსების დაწყებისთანავე. სწორედ ამ ეტაპზე იწყება ეკოსისტემის არამდგრადობის გამოვლენა. მეოთხე

ეტაპი იწყება დაწყებითი ეკოლოგიური გამოკვლევების შემდეგ. წყალსაცავის მდგრადი ფუნქციონირების დაწყებასთან ერთად.

აგებული წყალსაცავების ეკოლოგიური შეფასების საფუძველზე გამოყოფილია გავლენის ორი ზონა – ზედა და ქვედა ბიეფი.

ზედა ბიეფში მიმდინარეობს სასოფლო-სამეურნეო ნათესების, ტყეების, სხვადასხვა ობიექტების და დასახლებული პუნქტების დატბორვა; გრუნტის წყლების დინამიკის შეცვლა, რაც იწვევს წყალსაცავების ტერიტორიების დატბორვას და მეწერული პროცესების გაძლიერებას; წყალსაცავების ნაპირების გადამუშავება; წყალსაცავში მყარი ჩამონადენის აკუმულაცია, რაც სასარგებლო მოცულობის დაკარგვას იწვევს; წყალსაცავში წყლის ხარისხის შეცვლა და სხვ.

ქვედა ბიეფში მიმდინარეობს წყალდიდობის წყლის ხარჯების შემცირება; მდინარეში წყლის დონის მკვეთრი გაზრდა; თევზების ძვირფასი ჯიშების განადგურება; კალაპოტის გარეცხვა ქვედა ბიეფში და წყლის დონის ვარდნა; დატბორვისას ნიადაგის ნაყოფიერების დაქვეითება.

3.2. მთის წყალსაცავების ნაპირების ფორმირება

მთის წყალსაცავების ნაპირების ფორმირების პროცესები იწყება წყალსაცავების შევსებიდან. წყალსაცავების ნაპირების გადამუშავება შედის ათ ყველაზე საშიშ ტექნობუნებრივ პროცესში. წყალსაცავის ნაპირების ფორმირების ზონაშია სანაპირო ტერიტორიებისა და ნაგებობების დაკარგვა. წყალსაცავის შევსების დროს შეიმჩნევა თანდათანობითი წყალგაჯერება, მთის ქანების სიმკვრივის შემცირება სანაპირო ფერდობზე. ამ (ნულოვან) სტადიაში პროცესების განვითარებისას ხდება სანაპირო გრუნტების სტრუქტურის მიკროდეფორმაცია, რაც ლატენტურ (ფარულ) ხასიათს ატარებს.

ფარულ სტადიაში გარემოს დარღვევის მასშტაბებზე დამოკიდებულია ჩამოზვავების ინტენსიურობა, მეწერები, კარსტული ჩავარდნები, დაწევა და სხვა სწრაფად განვითარებადი გეოლოგიური პროცესები.

სანაპირო ზოლზე ტალღური პროცესების ენერგეტიკული ზემოქმედება აძლიერებს პირველდაწყებით დესტრუქციულ პროცესებს.

მთის წყალსაცავების სანაპირო ფერდობების გადამუშავებისას ვითარდება თანამედროვე დეფორმაციული პროცესების კომპლექსი (აბრაზია, გარეცხვა, მეწერული გადაადგილება, ჩამოზვავება და სხვ.). მდინარის ხეობის ფერდობების ფორმირების კვლევებია:

- თანამედროვე გეოლოგიური პროცესების მიმართულებისა და ინტენსიურობის განვითარება (რღვევის მოცულობა, ფერდობის

უკანდახევა, სტაბილიზაციის დრო);

- პროფილების გადაშუშავების ძირითადი ელემენტების დადგენა (გარეცხვის ზედა და ქვედა საზღვრები, დახრამვის სიმაღლე, აბრაზიული და აკუმულაციური თავთხელების დახრილობა და სიგანე, ასევე საკვლევი ნაკვეთის საზღვრებში სანაპირო ზოლის კონფიგურაციის შეცვლა).

წყალსატევის ტაფობის ცვლილებების პროგნოზირებისას გამოიყოფა ორი ზონა, რომელთა საზღვრებში იცვლება საწყისი ფაქტორები და საჭიროა მათი რანჟირება:

- კაშხალთან, სადაც ძირითადი ფაქტორია ტალღური რეჟიმი;
- ზედა ზონის ცვალებადი რეჟიმი, სადაც აბრაზიული რეჟიმი პერიოდულად იცვლება კალაპოტური რეჟიმით. ძირითადი ფაქტორი – ჩამონადენი დინებები.

ნაპირების ცვლილებების პროგნოზირების მეთოდის გამოყენების დასაზუსტებლად გამოიყოფა წყალსაცავების ტიპიზაციის შემდეგი კრიტერიუმები:

- წყალსაცავის ტიპი, პროცესების განვითარების მდგომარეობის გათვალისწინებით (ვაკის, მთისწინა, მთის);
- პროგნოზირების მეთოდის საწყისი მდგომარეობა (ბუნებრივი ანალოგები, ენერგეტიკული მეთოდები ტალღური ენერჯის გათვალისწინებით, მათემატიკური მოდელირება მრუდის რეგრესიის კორექტირებით);
- პროცესების განვითარების დროებითი დახასიათება (მოკლევადიანი – 1 წლიდან 10 წლამდე, გრძელვადიანი – 10-დან 50 წლამდე და სისტემის დინამიური წონასწორობის მიღწევის განსაზღვრის დრომდე);
- სივრცობრივი ორიენტაცია (სიბრტყითი პროგნოზი თითო ჭრით, ორგანზომილებიან მონაკვეთებზე, ვრცელდება წყალსაცავის პერიმეტრზე);

პროგნოზის მონაცემები შეიძლება დავეყთ ორ ჯგუფად: ფონური – განვითარების ხარისხის სურათის განმსაზღვრელი და შემაჯამებელი (ინტეგრალური) – რაოდენობრივი მაჩვენებლების განმსაზღვრელი.

ფონური პროგნოზი სრულდება ბუნებრივი ანალოგების კლასიფიკაციურ-ანალოგიური სქემების გამოყენებით. ამასთან, თუ დონის გადაშუშავება მეტია 20 მეტრზე, მაშინ აგება უნდა შესრულდეს ყოველ 20-25 მეტრში.

ნაპირების გადაშუშავების დეტალური *ინტეგრალური პროგნოზის* შემადგენლობაში ჩართული უნდა იყოს:

- მახასიათებელი უბნების გამოყოფა წყალსატევის პერიმეტრზე მორფოლოგიური სიტუაციის, ლითოლოგიური კომპლექსის და

სანაპირო ფერდობების გადამუშავების პროცესების განვითარების მიმართულების შესაბამისად;

- ქვეკომპონენტების მონაცემების პროგნოზების განზოგადება სხვადასხვა მიმართულების პროცესების განვითარების გათვალისწინებით;
- დეფორმაციის საერთო რაოდენობრივი მაჩვენებლების დადგენა სანაპირო ზონაში უბნების გამოყოფით, სადაც აუცილებელია ჩატარდეს დაცვითი და გარემოსდამცავი ღონისძიებები.

მთის წყალსაცავებზე შეიძლება ერთი ფერდობის საზღვრებში დაგეგმვას ნაპირების გადამუშავების პროგნოზირების სხვადასხვა მეთოდების გამოყენება, რადგან აქ შეიმჩნევა პროცესების ხასიათის ცვლა, როგორც ფერდობის სიგრძეზე, ისე მის სიმაღლეზე, გეომორფოლოგიური სიტუაციისა და წყლის დონის შესაძენვე ცვალებადობის შედეგად.

აღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინებით რეკომენდებულია პროგნოზირების შემდეგი რიგითობით შესრულება:

- სანაპირო პროცესების განვითარების საერთო მიმართულების განსაზღვრა;
- ფერდობის განვითარების ისტორიის ანალიზი;
- წყალსაცავის პერიმეტრზე სანაპირო ფერდობებზე სხვადასხვა ტიპების გავრცელების გენეტიკური კლასიფიკაციის საზღვრების დადგენა ფერდობის სიმაღლეზე წყალსაცავში წყლის დონის ცვალებადობის საზღვრებში;
- რღვევის მოცულობის და დანალექის რაოდენობრივი შეფასება ფერდობის სიგრძეზე და სიმაღლეზე.

აღნიშნული პირობები განაპირობებს პროგნოზირების სხვადასხვა მეთოდიკისა და პირველადი მონაცემების სხვადასხვა კომპლექტების გამოყენების აუცილებლობას. სახელდობრ:

- დენუდაციურ-აბრაზიულ ნაპირებზე – გამოფიტვის ინტეგრალური სიჩქარეები ქანების ციკლური წყალგაჯერებისა და გამოშრობის გათვალისწინებით;
- ზვავებისა და მეწყერების ფორმირება კლდოვანი და ნახევრად კლდოვანი ქანების მაღალ ფერდობებზე მთა-კლდოვან არეალში;
- კარსტული ნაპირების გადამუშავების პროცესების განვითარება დგინდება ტიპური ხერხით ქანებში არახსნადი მინარეგების რაოდენობის საფუძველზე და მოითხოვს სპეციალური კვლევების ჩატარებას.

წყალსაცავის სანაპირო ფერდობების გადაფორმირების პროგნოზის შემადგენლობაში საჭიროა შევიყვანოთ ყველა პროცესის ძირითადი მონაცემები: აბრაზია, მეწყერები, ფლატეები,

დაწვევები, კარსტები და სხვ., რომელთა ტიპიზაცია სრულდება სანაპირო ფერდობის საინჟინრო-გეოლოგიური კლასიფიკაციის ბაზაზე. საწყისი გამოთვლები სრულდება პირველადი პროცესების მიხედვით. ინტეგრალური პროგნოზი შეიძლება მიღებულ იქნეს, როგორც ფერდობის განვითარების ყველა სტადიის გამოთვლის შემთავსებელი ეფექტი. ფერდობის პროფილის გადამუშავების ძირითადი ელემენტების განსაზღვრა მოცემულ დროში მოითხოვს შემდეგი მონაცემების ჩართვას:

- ფერდობის შიდა ფორმირების საზღვრებს;
- სანაპირო მექანიკის მოხაზულობასა და შესაძლო ცვლილებებს დროში;
- დონის და სტაბილიზაციის ხანგრძლივობა.

პირველადი პროგნოზის შემადგენლობაში აუცილებლად უნდა იყოს ჩართული: ქარ-ტალღური და დონური რეჟიმის ფორმირება, სანაპირო გრუნტების თვისებები და შემადგენლობა ცვლადი დატენიანებისა და გამოშრობის პირობებში წყალსაცავის ექსპლუატაციის დროს.

გრუნტების თვისებების ცვლილებები განისაზღვრება ტიპური სქემით:

$$y = a e^{-bt} + c e^{-dt}, \quad (3.1)$$

სადაც y - ქანის ერთ-ერთი მაჩვენებელია, რომელიც მოითხოვს განსაზღვრას. პირველი შესაკრები წყლის დონის გადაადგილების სიჩქარის მახასიათებელია, ხოლო მეორე განსაზღვრავს დატენიანება-გამოშრობის ციკლების რაოდენობასა და ხანგრძლივობას წყლის დონის ცვალებადობისას წყალსაცავის ექსპლუატაციის დროს.

ქვეკომპონენტების პროგნოზირების შემადგენლობაში ჩართული უნდა იყოს:

- ნაპირების გადამუშავების უბნების საერთო რაოდენობრივი მაჩვენებლების განსაზღვრა (რღვევის მოცულობა, აკუმულაცია და ფერდობის ნაპირის უკან დახევა) და პროფილის გადამუშავების ძირითადი ელემენტები სანაპირო პროცესების გენეზისის გათვალისწინებით. მაგალითად:
 - აბრაზიულ ნაპირებზე: მეწერული მასის მოცულობა, დახრილობა, გარეცხვის სიღრმე, დახრამვის სიმაღლე, ნაპირის უკან დახევა);
 - მეწერულ ნაპირებზე: მეწერული მასის მოცულობა, გადაადგილებული ფენის სიმაღლე და გადაადგილებული მასის სიჩქარე.

საქართველოს მთის წყალსაცავების ექსპლუატაციის გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ ნაპირების გადამუშავებას არ აქვს კლებადად გამოხატული ხასიათი. დებულებას ნაპირების ფორმირების „საბოლოო სტადიაზე“ არ აქვს პრაქტიკული მნიშვნელობა, რადგან ის შეიძლება დადგეს ძალიან დიდი დროის შემდეგ. როგორც სიონის წყალსაცავზე ჩატარებული ნაპირების გადაფორმირების კვლევები გვიჩვენებს, ნაპირების მონოტონური და უწყვეტი გადამუშავების პროცესი გრძელდება უკვე ექსპლუატაციის 45 წლის განმავლობაში (ნახ. 3.2.1). ავტორების მიერ სიონის წყალსაცავზე პერიოდულად ტარდებოდა სანაპირო ზოლის ცვალებადობის კვლევები.

2008 წლის კვლევების შედეგად სიონის წყალსაცავის სანაპირო ზონა განვითარების პროცესების მიხედვით შეიძლება დავყოთ სამ უბნად:

ზედა ზონა (ს. მაჟალოლანიდან ს. ჯიხომდე) – ვიწრო ხეობა, ციცაბო ნაპირებით, რომლებიც ძირითადი ქანებისაგან შედგება (ნახ. 3.2.1). სანაპირო ზონის ცვლილება უმნიშვნელოა;

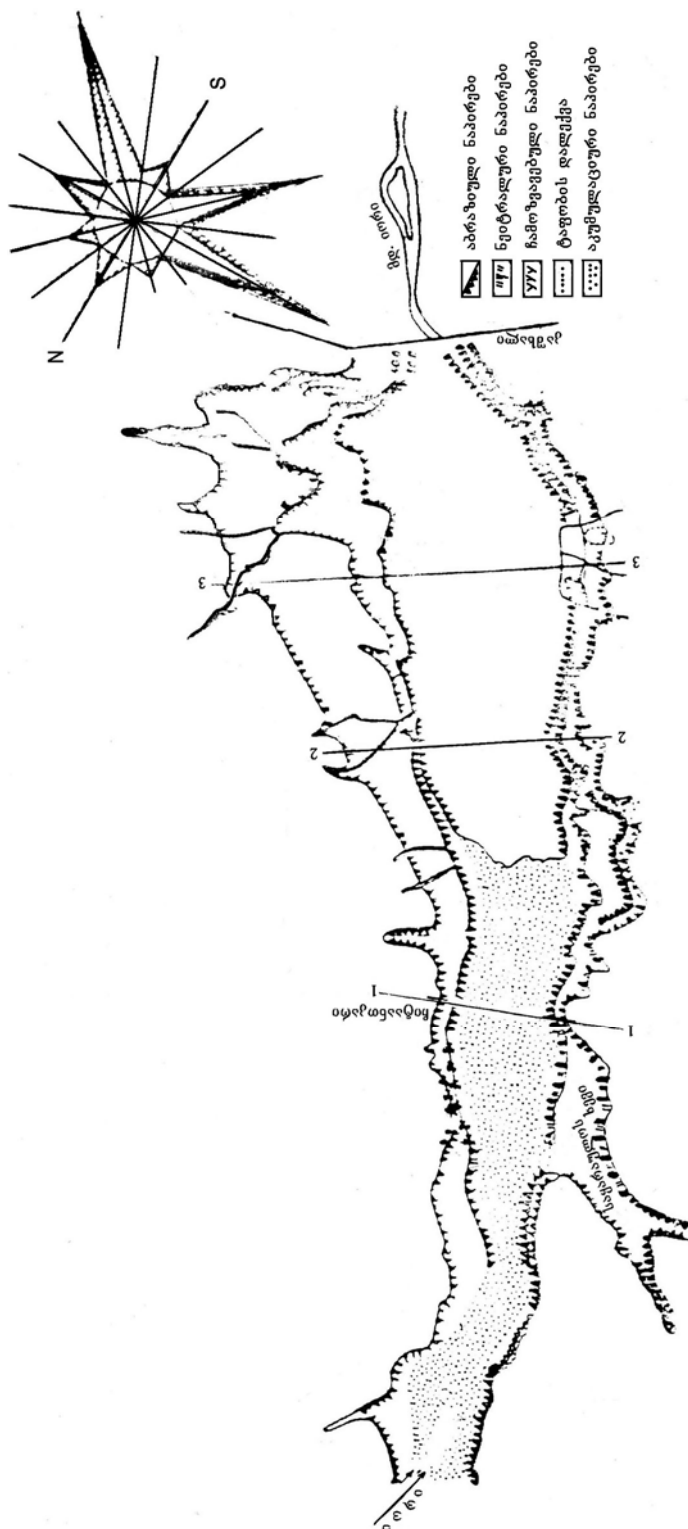
გაფართოების დასაწყისი ხეობის დანარჩენი ნაწილისგან გამოირჩევა თავისი გეოლოგიური და გეომორფოლოგიური პირობებით. მარჯვენა ნაპირი აგებულია მკვერივი სქელფენოვანი ქვიშაქვისაგან, ფიქალი თიხის შუა შრეებით, რომელთა დატენიანება იწვევს ფენების ჩამონგრევას (უმნიშვნელოს), მარცხენა ნაპირი აგებულია მაიკოპის ფიქალოვანი თიხებისაგან, ქვიშიანი ძლიერ დაქუცმაცებული შუა შრეებით.

გაფართოების შუა ნაწილის მარჯვენა ნაპირი უფრო დამრეცია, დაფარულია დელუვიის ფენით (6-12 მ), რომლის ქვეშ სარმატის კონგლომერატებია. ფერდობების დამრეცობამ, ქანების დაბალმა წინააღმდეგობამ და ფერდობის ექსპოზიციამ ქარების მიმართულებასთან შეფარდებით, განაპირობა აბრაზიის განვითარება ღრმულის წარმოქმნით. საფარი ფენა გარეცხილია დიდ სიღრმეზე.

მარცხენა ნაპირი მთელ სიმაღლეზე აგებულია ძველი მეოთხეული თიხოვანი კონგლომერატებით, გამკვერივებულია და გაშიშვლებულია ტერასებით მთელ სიმაღლეზე. ციცაბო ფერდობებმა და თიხოვანმა გრუნტებმა აქ განაპირობა ზვავსაშიში მოვლენების არსებობა წყლის დონის დაწვევისას.

წყალღრმა ზონა ასიმეტრულია. მარჯვენა ფერდობი ადრე დაფარული იყო 10-15 მ-ის სიმაღლის დელუვიებით, წარმოდგენილი თიხოვანი და კაჭარი შემადგენლობის კონგლომერატებით.

ფერდობის დაქანებამ და მისმა ექსპოზიციამ განაპირობა აბრაზიის ინტენსიური განვითარება. ზედა ფენა თითქმის მთლიანად გამორეცხილია.



ნახ. 3.2.1. სიონის წყალსაცავის ნაპირების განვითარების რუკა

ტაფობის სხვადასხვა ნაწილში გვხვდება მეწყრული ხასიათის მოვლენები, რომელთა დიდი ნაწილი (წყალსაცავის ბოლო ნაწილში და მარჯვენა ნაპირის ცალკეულ უბნებზე) გამოწვეულია, ძირითადად, მდინარის მიერ დელუვიალური დანალექების წარცხვით. ბოლო წლებში წყლის დაბალი დონის არსებობამ განაპირობა პროცესების პრაქტიკული სტაბილიზაცია; თუმცა არ არის გამორიცხული აბრაზის აქტივიზაცია და მეწყრული გადანაცვლება წყალსაცავის ნორმალურ საექსპლუატაციო რეჟიმში.

გამოკვლევების შედეგებმა საშუალება მოგვცა შეგვესრულებინა სანაპირო ფერდობების ტიპიზაცია და მიგველო მთელი რიგი რაოდენობრივი მაჩვენებლები.

სიონის წყალსაცავის სანაპირო ზონის ფორმირებისას განვითარდა აბრაზიული, აკუმულაციური, ნეიტრალური და დაჭაობებული ნაპირები (ნახ. 3.2.1).

I – აბრაზიული ტიპის ნაპირები იყოფა 4 ქვეტიპად: 1) დენუდაციურ-აბრაზიული – რომელზეც ძირითადი ქანები დაფარულია მცირე სიმძლავრის (0,3-0,5 მ) დელუვიებით და წარცხილია ექსპლუატაციის პირველივე წელს. წარცხვას ექვემდებარება კონგლომერატების და თიხების ზედა ფენები, 20-40 სმ-ის სიმძლავრის, აბრაზია მიმდინარეობს საკმაოდ ნელა, წამყვანი პროცესი – გამოფიტვაა, ნგრევის პროდუქტები გადაადგილდება დელვის შედეგად წყალქვეშა ფერდობის ქვედა მონაკვეთზე (დახრილობა 23-25°).

II – აბრაზიულ-წარცხილი ნაპირები – პროცესის ინტენსიურობის მიხედვით იყოფა ზედაპირულ, მცირე, საშუალო და ძლიერ წარცხილ ნაპირებად.

ზედაპირულად წარცხილ ნაპირებზე არ წარმოიქმნება წანარეცხის საფეხურები. სუსტად წანარეცხ ნაპირებზე – (ძირითადად ს. კუპრიაანთ-კარი და სიონი) – კონცხის სათავეში – ნაპირები ძლიერ დასერილია, რაც ზრდის წარცხვის ინტენსივობას.

საშუალოდ და ძლიერ წარცხილი ნაპირები, აგებული მეოთხეული კონგლომერატებით (მდ. იორის II და III ტერასა – კაჭარ-კენჭოვანი დანალექები ქვიშის შემავსებლით), დელუვიალური თიხნარით და კონგლომერატების დაშლის პროდუქტებით – კირქვით და ქვიშაქვით.

ზვავ-შვავური ნაპირები განვითარებულია მაღალ, დამრეც ფერდობებზე, რომელიც აგებულია ფაშარ-შეკავშირებული დანალექებით და გამოფიტულია ძირითადი ქანებისაგან, – წყალსაცავის ზედა ნაწილში, საყარაულოს ხევის შესართავის ზევით, მცირე ლოკალური უბნების სახით, მთელ პერიმეტრზე ფენის სიმძლავრე 3-9 მ-ია, დაცურების სიჩქარე – 0,3-0,6 მ/წელიწადში.

როგორც ცალკე სახეობა, გამოირჩევა რთული კონფიგურაციის უბანი, მშრალი ხევის შუა ნაწილში, ვერტიკალური დანალექები საკმაოდ მტკიცეაა ცემენტირებული და სიმკვრივის მიხედვით ახლოსაა სარმატულ კონგლომერატებთან.

ზვაგური ნაპირები – ძირითადად განვითარებულია წყალსატევის გაფართოებულ ნაწილში, დელუვიალურ დანალექებში. მეწყერებით მოცული ფერდობის განფენილობა ამ უბანზე 350-400 მ-ს აღწევს. მეწყერის დაცურება ხდება ძირითადი თიხნარის ზედაპირზე, გადაადგილების სიჩქარე – 0,3-0,6 მ/წელიწადში.

III – აკუმულაციური ნაპირები – პროცესის განვითარების მიხედვით იყოფა 2 ტიპად: 1) ტალღურ-აკუმულაციური – აგებულია ნაპირების დაშლილი ფაშარი მასალისაგან, გვხვდება ფართო ყურეებში, ახასიათებს შეზღუდული განვითარება. 2) ალუვიალურ-აკუმულაციური ტიპის, წარმოდგენილია მდ. იორის შესართავში, დანალექები წარმოქმნილია ლამოვან-ქვიშიანი ნატანების ხარჯზე და ხასიათდება რთული აგებულებით.

IV – ნეიტრალური ნაპირები – იყოფა 2 ტიპად: 1) - მსხვილი კლდოვანი ტიპი – მდებარეობს ჩრდილო-დასავლეთით (ს. საყარაულოს ჩრდილოეთით), 300 მ-ის მანძილზე და ჩრდილო-აღმოსავლეთის ფერდობზე (ს. ჩიტანთ-კარი), 500 მ-ის სიგრძით; 2) თავთხელი დაბალი ნაპირები – აგებულია მეოთხეული და თანამედროვე დანალექებით, იმ უბნებში სადაც სანაპირო ზოლი თანხვდება ტერასების ზედაპირს და მისი დახრილობა 5°-მდეა.

V – დაჭაობებული ნაპირები – შეზღუდული გავრცელებისაა, შეიმჩნევა მცირე ქანობის უბნებზე (1-1,5°) წყალსაცავის ქვედა ნაწილში. აღმოსავლეთ ნაპირის დაჭაობება (კაშხალსა და ლოდების-ხევის შორის ქანობი 10-15°) გამოწვეულია გრუნტის წყლების შეტბორვით და ზედაპირზე გამოსვლით დატბორვის ნიშნულის ზევით; ნაპირების აღნიშნული ტიპები და მათი გავრცელების რაიონები უკავშირდება მნიშვნელოვანი განმეორებადობის დონეს (1040,0 მ) წყლის ჰორიზონტის ცვლილებისას წყალსაცავში ისინიც იცვლება. მაგ.: მარცხენა ნაპირის ნეიტრალური უბნები წყლის დონის დაკლების შემდეგ (ნიშნული 1035-1030 მ) 2 კმ-ის სიგრძეზე აბრაზიული ხდება, რაც დაკავშირებულია ტერასის ზედაპირიდან კიდის გადანაცვლების საფეხურზე.

ჩვენი დაკვირვებების შედეგების თანახმად:

წყალსაცავის ტაფობის აგებულებაში მონაწილეობს სხვადასხვა ფორმაციის და პეტროგრაფიული შედგენილობის ქანები, რაც გეომორფოლოგიურ პირობებთან ერთად განაპირობებს ნაპირების გადაქმნაების არსებით განსხვავებას წყალსაცავის პერიმეტრის გასწვრივ.

შუა ნაწილში (სიონის გაფართოება) აღინიშნება აბრაზია, ხეობის შევიწროვებასთან ერთად დიდ მნიშვნელობას იძენს არატალღური ფაქტორები და რღვევის განვითარებას განაპირობებს ქანების შემადგენლობა და დონის დამუშავება.

ექსპლუატაციის პერიოდში (1980-2010 წწ.) გადამუშავების პროცესი პრაქტიკულად დასტაბილურდა. ამის მიზეზად უნდა ჩაითვალოს:

- გარემო ფაქტორების ზემოქმედების მიმართ მდგრადი ნაპირის პროფილის გამომუშავება;
- წყლის დონის დაწვეა პროექტით გათვალისწინებულ ნიშნულზე დაბლა;
- წყლის დონის ცვლილების ამპლიტუდის შემცირება;
- დელვის ენერჯის ცვლილება და ფერდობზე მისი განაწილება.

საპროექტო რეჟიმით გათვალისწინებული ექსპლუატაციის დროს არ არის გამორიცხული სანაპირო პროცესების აქტივაციის შესაძლებლობა.

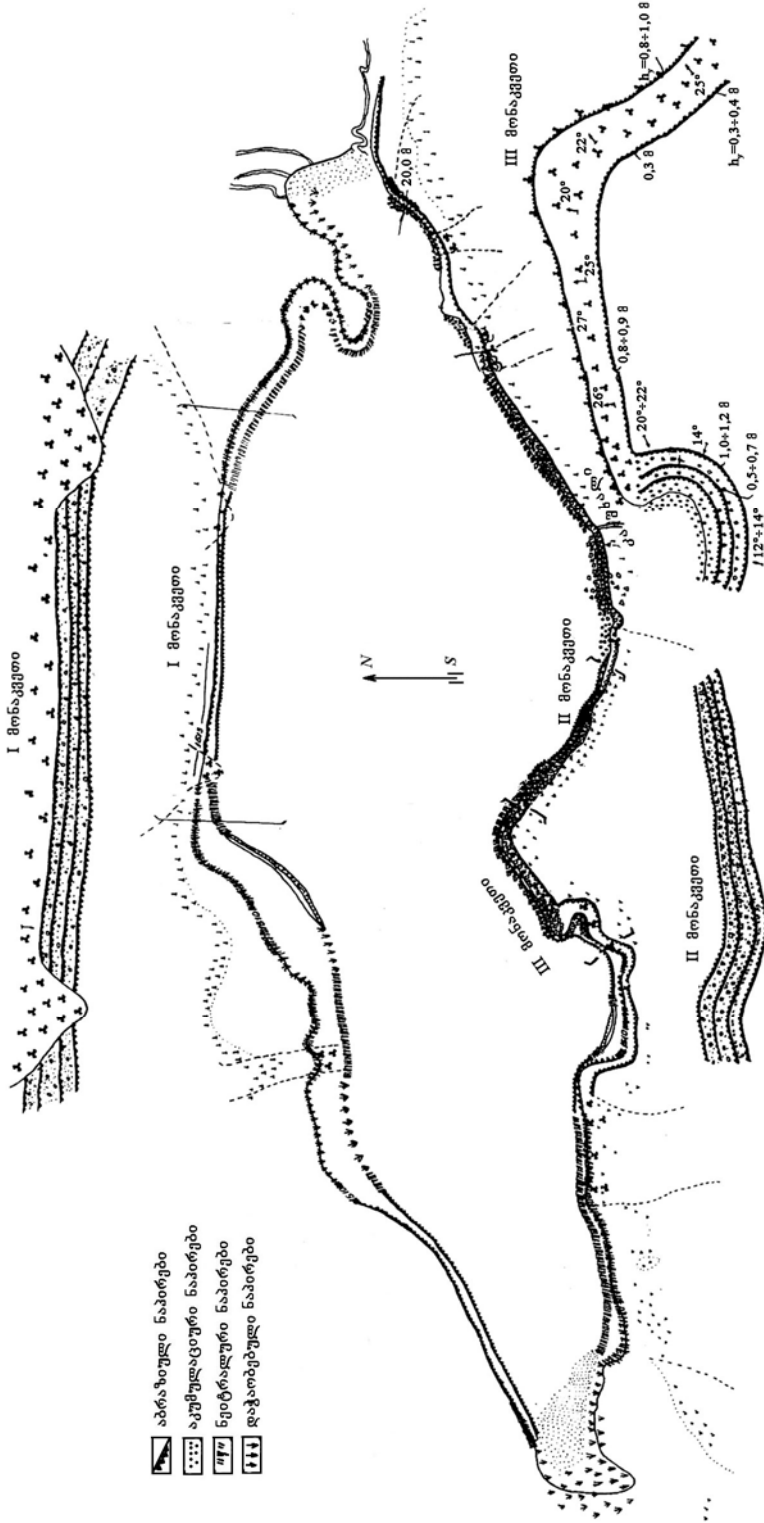
წყალსაცავში ჩატანილი ჩამორეცხილი გრუნტის მოცულობა არ არის მნიშვნელოვანი, ამასთანავე ქანების ქიმიური შედგენილობა არ შეიცავს ელემენტებს, რომლებიც გავლენას ახდენს წყლის ხარისხზე.

საქართველოს რიგი წყალსატევების სანაპირო ზონის მორფოლოგიური რუკები მოყვანილია ნახაზებზე 3.2.2÷3.2.9.

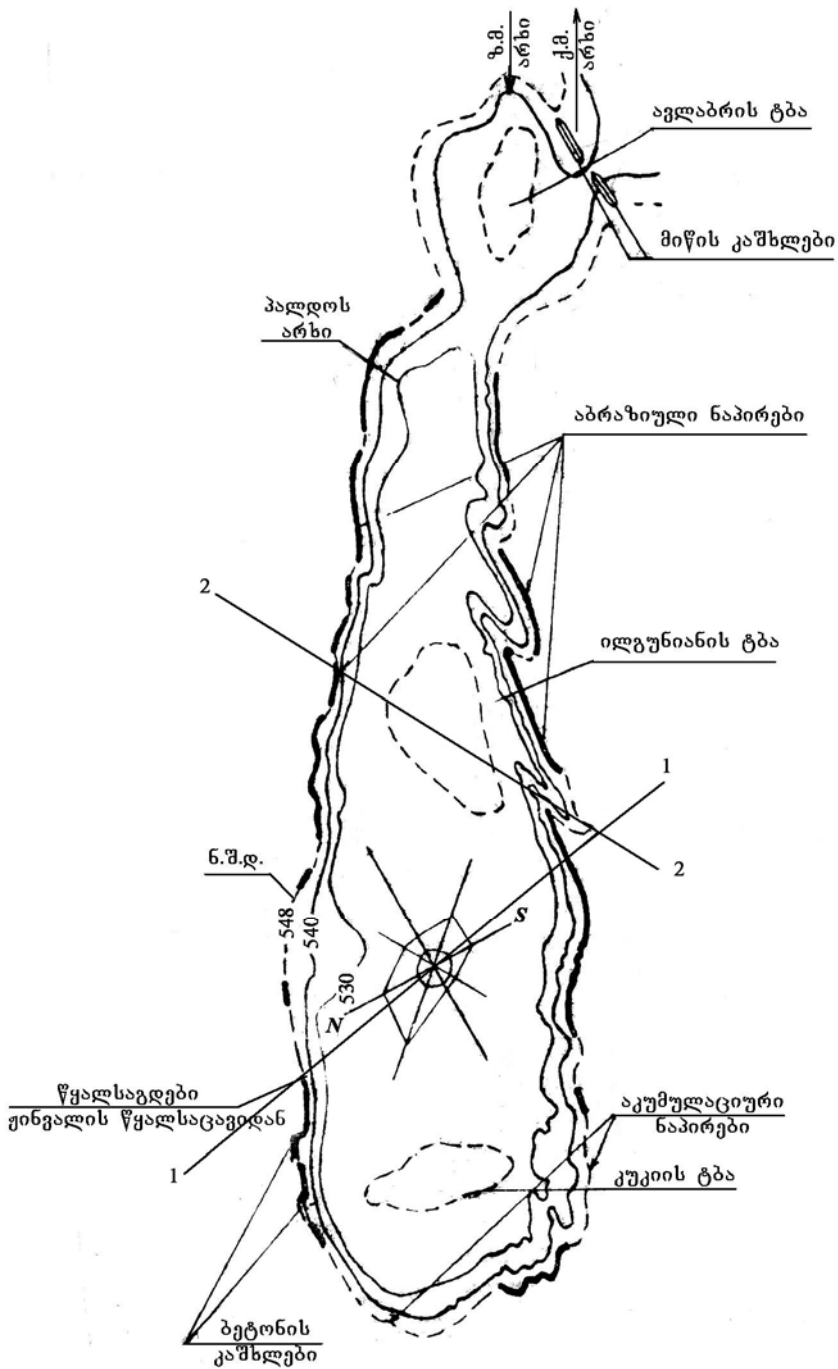
თანამედროვე პერიოდში ლაჯანურის, ტყიბულისა და ვარციხის წყალსაცავები მთლიანად დასილულია.

მთის წყალსაცავების ნაპირების გადამუშავების ძირითადი მოქმედი ფაქტორებია – ქარ-ტალღური რეჟიმი, დონის დამუშავება, სანაპირო ზონის კონფიგურაცია, ფერდობის დახრილობა და გრუნტების ტიპი. ნაპირების გადამუშავების გამოკვლევა უნდა ხორციელდებოდეს ნაპირების ყველა კონკრეტული უბნისათვის. მთის წყალსაცავების ციცაბო ფერდობებისათვის შესაძლებელი გახდა დაგვედგინა სანაპირო ზონის გადამუშავების საერთო დამახასიათებელი სქემა (ნახ. 3.2.10).

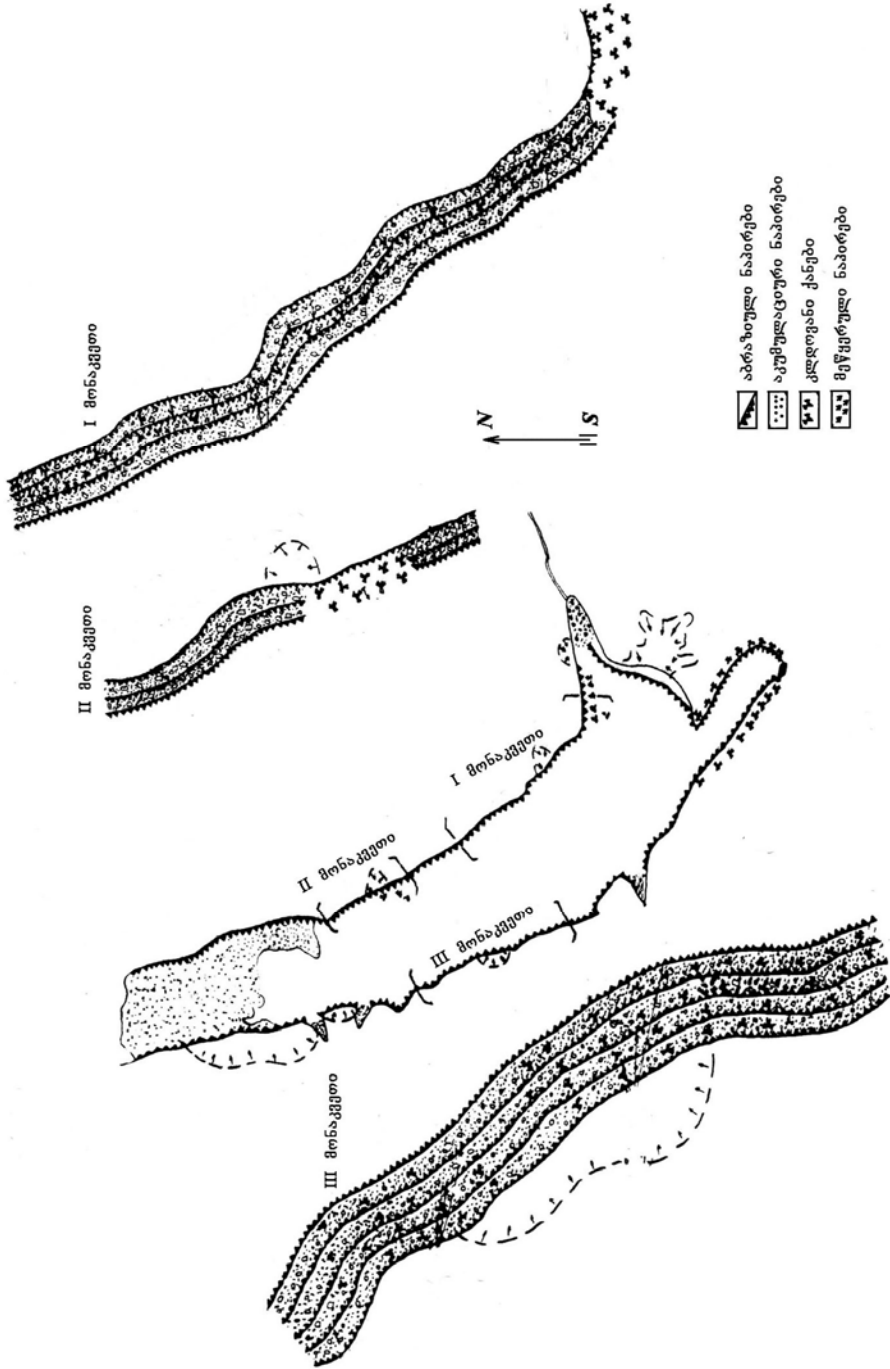
კვლევების საფუძველზე გამოვლინდა, რომ: მთის წყალსაცავების ნაპირების გადამუშავების ძირითადი მოქმედი ფაქტორებია – ქარ-ტალღური რეჟიმი, დონის დამუშავება, სანაპირო ზონის კონფიგურაცია, ფერდობის დახრილობა და გრუნტების ტიპი. ნაპირების გადამუშავების გამოკვლევა უნდა ხორციელდებოდეს ნაპირების ყველა კონკრეტული უბნისათვის. მთის წყალსაცავების ციცაბო ფერდობებისათვის შესაძლებელი გახდა დაგვედგინა სანაპირო ზონის გადამუშავების საერთო დამახასიათებელი სქემა (ნახ. 3.2.10).



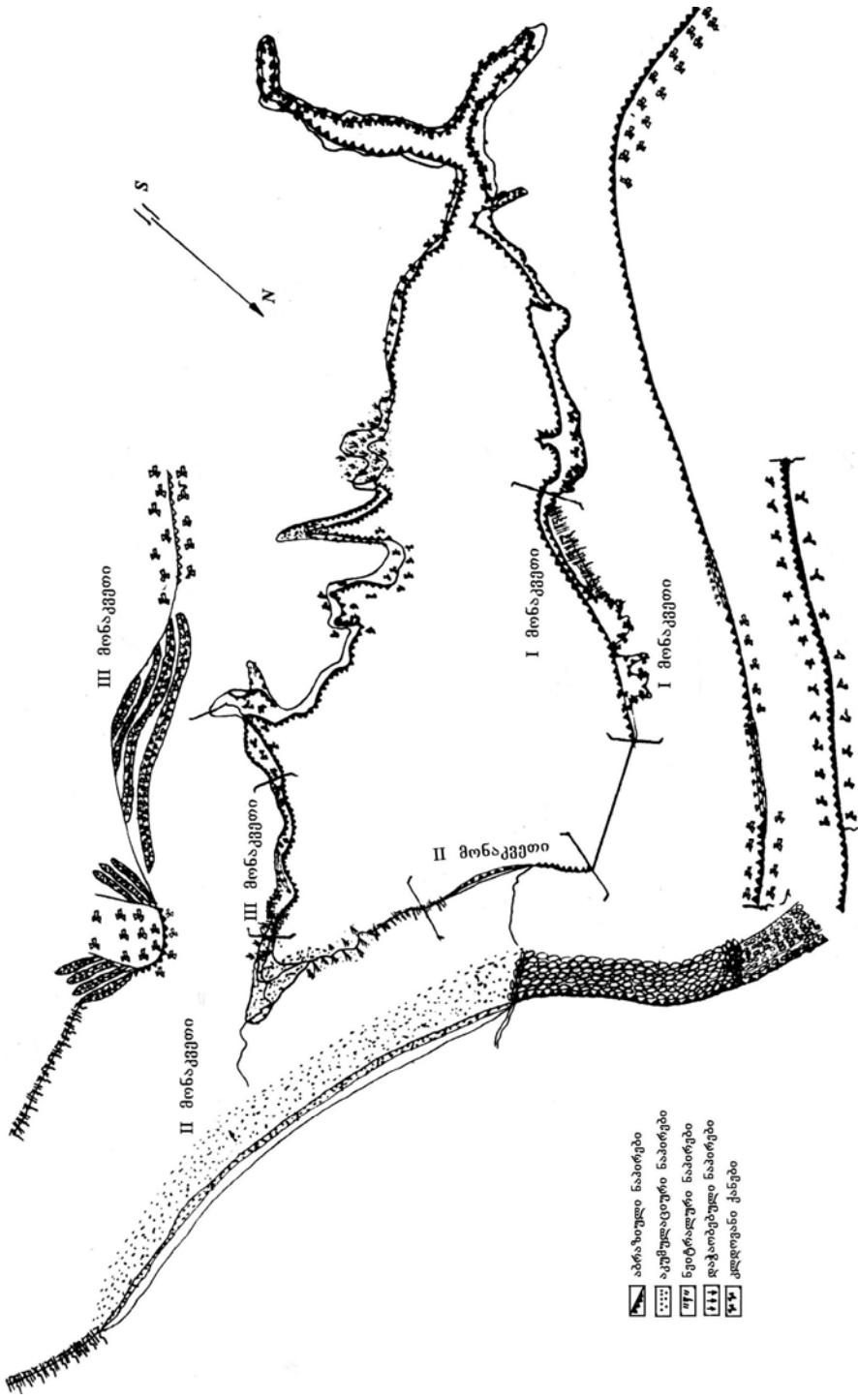
ნახ. 3.2.2. ხრამის წყალსაცავის ნაპირების განვითარების სქემატური რუკა



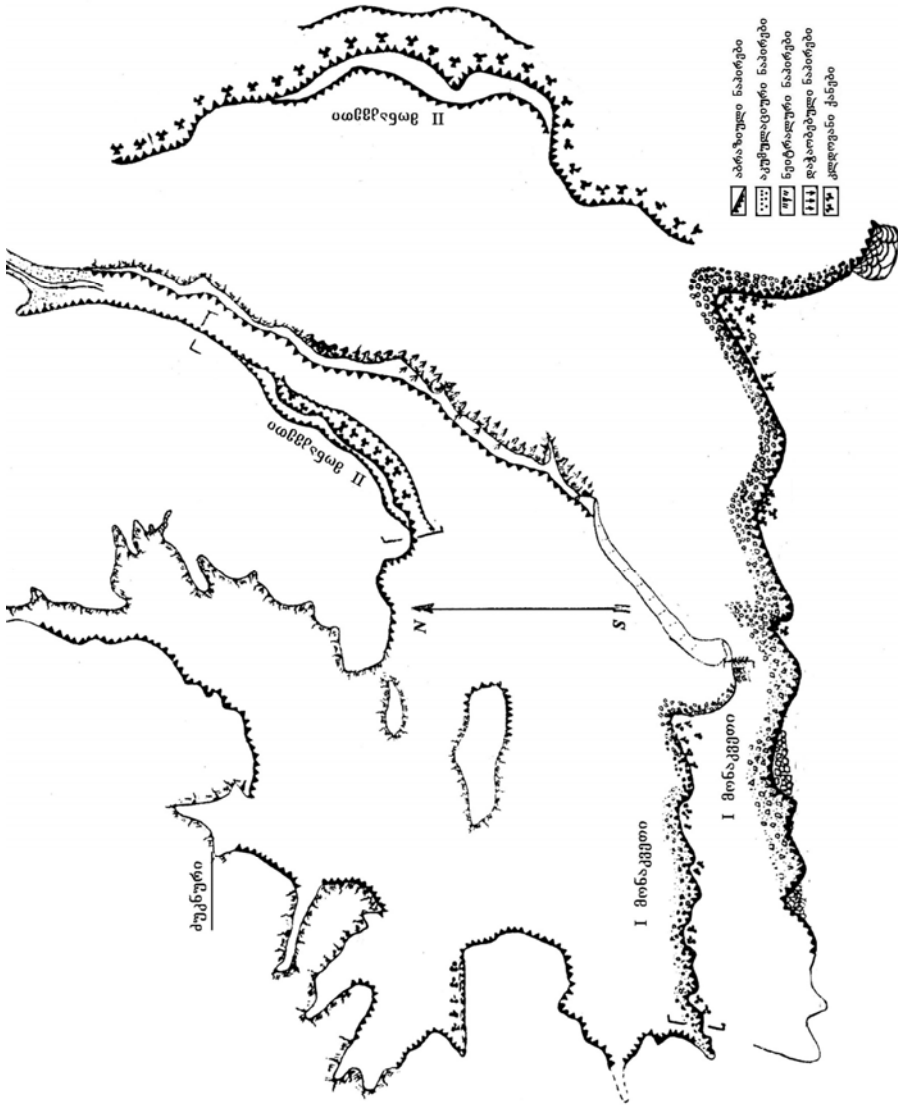
ნახ. 323. თბილისის წყალსაცავის ნაპირების განვითარების სქემა
 ————— აბრაზიული ნაპირები; - - - - - აკუმულაციური ნაპირები.



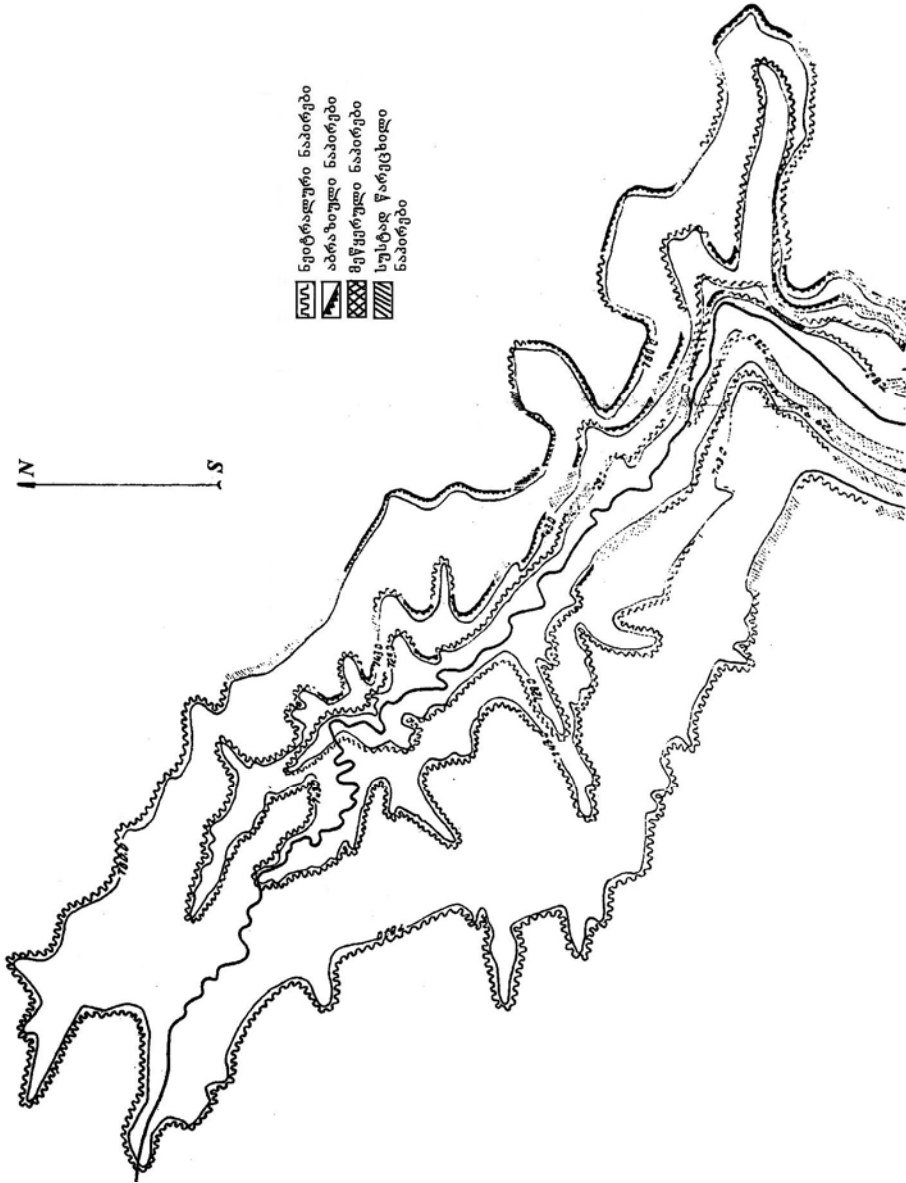
ნახ. 3.2.4. ლაჯანურის წყალსაცავის ნაპირების განვითარების სქემატური რუკა



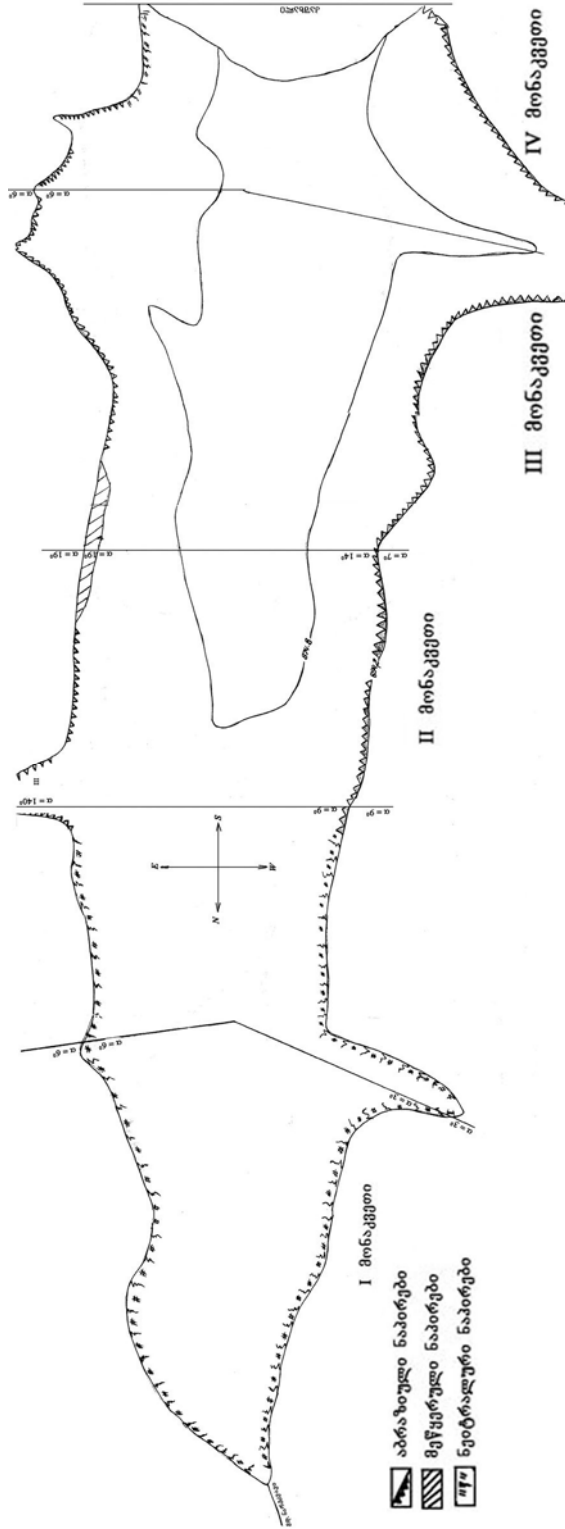
ნახ. 3.2.5. შათრის წყალსაცავის ნაპირების განვითარების სქემატური რუკა



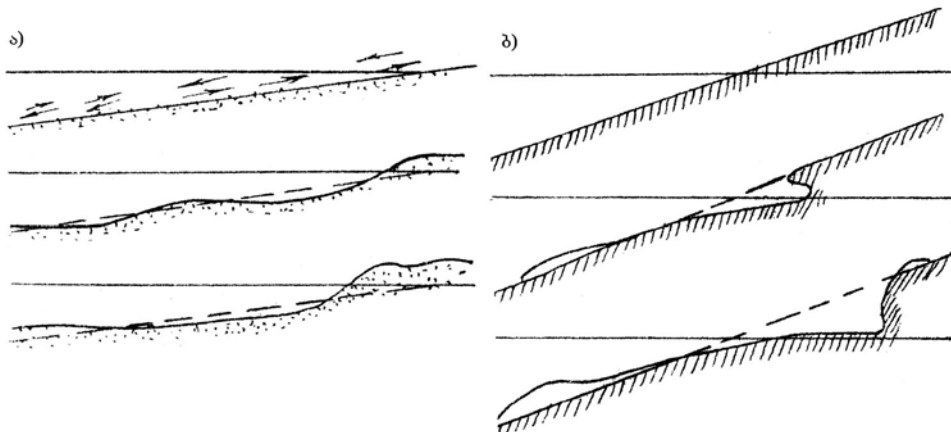
ნახ. 3.2.6. ტკიბულის წყალსაცავის ნაპირების განვითარების სქემატური რუკა



ნახ. 3.2.7. ლაგებს წყალსაცავის ნაპირების განვითარების სქემატური რუკა



ნახ. 3.2.9. ნარეკევის წყალსაცავის ნაპირების განვითარების სქემატური რუკა



ნახ. 3.2.10. მთის წყალსაცავების ციკლო ნაპირების დეფორმაციის ტიპური სქემები: ა) არაშეჭიდილი გრუნტები, ბ) შეჭიდილი გრუნტები

3.3. მთის წყალსაცავების ტაფობის ფორმირება

მთის წყალსაცავების შექმნა იწვევს მდინარის ჰიდროლოგიური რეჟიმის რღვევას, რაც გამოწვეულია ნატანის გადაადგილების სიჩქარის, დონური რეჟიმისა და თხევადი ჩამონადენის ცვალებადობით. წყალსაცავის ფარგლებში მკვეთრად მცირდება მდინარეული ნაკადის სიჩქარე, რაც გამოწვეულია დონის ცვალებადობის შედეგად წყლის სიღრმის მატებით. კაშხლის ქვემოთ ჰიდროლოგიური რეჟიმის ფორმირება დამოკიდებულია დონური რეჟიმისა და წყალსაცავიდან გაშვებული წყლის მოცულობაზე. რეჟიმის ცვლილებასთან ერთად იცვლება ნაკადის ჰიდრაულიკური მახასიათებლები. ამ პროცესში დადებით ფაქტორად შეიძლება ჩაითვალოს წყლის შიდაწლიური განაწილების ჩამოყალიბება, ანუ წყალდიდობის პიკების მოხსნა და ჩამონადენის წყალმცირების პერიოდის გაზრდა.

დედტის რაიონში, შესართავთან, ჩამონადენის მოცულობის შემცირება (წყალმოხმარების ხარჯზე) და ჩამონადენის შიდაწლიური განაწილება განაპირობებს მისი წარმოშობის პროცესების მიმართულებასა და ინტენსივობას, ძირითადად, ტოტების დეგრადაციისა და დედტის ფართობის შემცირების ხარჯზე.

ზღვისპირეთში შესართავის საზღვრებში იცვლება წყლის ბალანსის სეზონური ფარდობითობა. შესართავის ზონაში, მდინარის წყალუხვობის შემცირებას მოყვება დამარილიანებული წყლების ინტრუზიის ზრდა, მაგრამ, ამავე დროს, შუალედურ პერიოდში ჩამონადენის

ზრდა უზრუნველყოფს ჰალოკლინის შემცირებას დიდ მანძილზე.

თხევადი ჩამონადენის რეჟიმის დარღვევა აგრეთვე განაპირობებს მყარი ჩამონადენის რეჟიმის ცვლილებას და ახალი ბუნებრივი პროცესების განვითარებას:

- აკუმულაციური პროცესების განვითარებას წყალსაცავის საზღვრებში, ანუ მათ დაღეკვას წყალსაცავის ფსკერზე;
- კაშხლის ქვემოთ ნატანით გაჯერებული ნაკადების შემცირების ხარჯზე ვითარდება კალაპოტური დეფორმაციები, რაც გამოიხატება წყალსაცავის ფსკერისა და ნაპირების გარეცხვაში. მდინარის დეფორმაციული მონაკვეთის სიგრძე განისაზღვრება თხევადი ჩამონადენის ოდენობით და მათი ნატანით გაჯერების ხარისხით, რაც, თავის მხრივ, განპირობებულია გარეცხვის ინტენსივობით;
- დელტის საზღვრებში შეიმჩნევა დეგრადაციის გაძლიერება;
- ზღვისპირეთში, შესართავისპირა რაიონში, შეიმჩნევა ნაპირებისა და ზღვის ფსკერის გარეცხვა, აგრეთვე ზღვის ჰიდროტექნიკური ნაგებობების დეფორმაციები;

მთის წყალსაცავების დაღამვა და დაღეკვა განპირობებულია მთის ნაკადების მყარი ჩამონადენის დიდი მოცულობით.

დაღამვისა და დაღეკვის პროცესების ინტენსივობა და მისი მიმართულება განისაზღვრება მდინარის ხეობაში (ვაკე, მთისწინეთი, მთის) წყალსაცავის განლაგებით და მორფოლოგიური თავისებურებებით. უფრო ბევრი ნატანის დაგროვება შეიმჩნევა მთისწინეთის ზონის ღრმა ხეობებში და კალაპოტურ წყალსატევებში, მინიმალური კი – ქვაბულოვან წყალსატევებში. ამ მდგომარეობის ახსნა შეიძლება იმით, რომ საქართველოს მდინარეების შუაწელში, ჩვეულებრივ, ხდება ნატანის მეტი მოცულობის ტრანსპორტირება, ამიტომ წყალსაცავის შექმნა მკვეთრად აისახება ჰიდროლოგიური რეჟიმის მაჩვენებლებზე.

მთის ზონაში მაღალი ტრანსპორტუნარიანობის მქონე ნაკადებია, რომლებიც ხასიათდება მსხვილფრაქციული ნატანის დიდი მოცულობით, ხოლო მდინარის ფერდობები აგებულია მკვრივი ქანებით. ამიტომ, ძირითადად, ვითარდება დაღეკვის პროცესები (მსხვილფრაქციული ნატანის დაღეკვა) წყალსატევის ზედა ნაწილში, სადაც ჭარბობს მდინარეული ნალექები.

მთისწინეთის ზონაში ინტენსიურად ვითარდება ორივე პროცესი: დაღეკვა წყალსატევის ზედა ნაწილში და დაღამვა (წვრილფრაქციული და ლამოვანი ნატანების დაღეკვა) წყალსაცავის კაშხლისპირა და შუა ნაწილში. ამასთან, ნატანის შემადგენლობაში იზრდება წყალსაცავის სანაპირო ფერდობების დარღვეული (გადაფორმირებული) მასალების მოცულობა.

ვაკის ზონაში ჭარბობს დაღამვის პროცესები.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ წყალსაცავის ხელოვნური გამორეცხვის პრობლემები ნაკლებად ეფექტურია. ერთი გამორეცხვისას წყალსაცავის დანალექებიდან შესაძლებელია მოცილებულ იქნეს არაუმეტეს 3÷10%-სა, ამასთან, ნაკადების მიერ მუშავდება ღრმა, ვიწრო კალაპოტი, თითქმის დაკიდული ფერდობებით, ნატანის დიდი ნაწილი გამოირეცხება მკვდარი ჰორიზონტიდან, რის გამოც შეიმჩნევა გამორეცხილი დანალექის შევსება პირველივე წყალდიდობის პერიოდში.

დაკვირვებების მონაცემებით, წყალსაცავის ქვაბულის დაღამვა ზეგავლენას არ ახდენს რაიონის ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე. ძირითად უარყოფით ფაქტორს წარმოადგენს ჰიდროკვანძის ეფექტურობისა და წყალსაცავის რეგულირების უნარიანობის შემცირება.

ჰიდროკვანძის ქვემო ბიეფში კალაპოტური დეფორმაციები შეიმჩნევა პრაქტიკულად ყველა კალაპოტურ წყალსაცავში. ამავე დროს, კატასტროფული სიტუაციები არსად არ არის დაფიქსირებული. ზეგავლენა გარემო პირობებზე შემოიფარგლება კალაპოტითა და მდინარის ქანობით.

წყალსაცავზე მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს მყარი ნატანის რეჟიმის შეცვლა, რაც მუდგანდება ზღვისპირეთში შესართავთან, რადგან მთის მდინარეები წარმოადგენს პლაჟის წარმომქმნელი მასალების ძირითად მიმწოდებელს.

მაგალითისათვის, შავი ზღვის სანაპიროზე ნატანის ბალანსის დარღვევა საკმაოდ ნათლად გამოიხატა მსხვილი მდინარეების: ენგურის, რიონის, ერისწყლისა და ხობის შესართავებში. აღნიშნულ რაიონებში სანაპირო ხაზის უკან დახევის სიჩქარემ წელიწადში 12-15 მ-ს მიაღწია. ამის ძირითადი მიზეზებია: მდ. ენგურის კალაპოტის გადაადგება მდ. ერისწყლის რაიონში და მოლური ეფექტის შექმნა, რამაც განაპირობა სანაპიროს გასწვრივ მყარი ნატანის ნაკადის შეწყვეტა და მსხვილი ნატანის მოცულობის შემცირება. მდ. რიონის აუზში წყალსაცავების შექმნამ (4 წყალსაცავი 231 კმ-დან 143 კმ-მდე შუალედში) ნაკლები ზეგავლენა მოახდინა, მისი ქვემო დინების შენაკადებიდან ნატანის მოცულობის შევსების გამო. დაკვირვების მონაცემთა შედარებამ გვიჩვენა, რომ 1938-1958 წლებში (კასკადის შექმნამდე), წყლის საშუალო წლიური ხარჯის 410 მ³/წმ პირობებში, მყარი ნატანის საშუალო წლიური ჩამონადენი შეადგენდა 7,65 მლნ.მ³-ს, ხოლო შეტივნარებულის – 1,1 მლნ.მ³-ს. 1959 წლიდან 1987 წლამდე, საშუალო წლიური ხარჯის 418 მ³/წმ პირობებში, მყარი ნატანის ჩამონადენი შეადგენდა 3,62 მლნ.მ³-ს, ხოლო შეტივნარებულის – 0,3 მლნ.მ³-ს, ანუ შემცირდა 50%-ზე მეტით. შემდგომ წლებში შეიმჩნეოდა წყალსაცავებში დანალექების შემცირება, რასაც უნდა გაეუმჯობესებინა

მდგომარეობა ზღვისპირეთში. წყალსაცავების რეალური როლის შეფასება ზღვის სანაპირო დეფორმაციაზე მოცემულ უბანზე უაღრესად რთულია, რადგან პრობლემების განვითარებაში ჩაერთო რიგი დამატებითი ფაქტორები: მდ. რიონის ჩამონადენის გადაგდება, ნატანის წატაცება პორტის არხის მიერ, ნაპირსამაგრი ნაგებობების სისტემა, ქვიშისა და ქვების ხელოვნურად დაყრა, წყალსაცავების ნატანით შევსება, რამაც მნიშვნელოვნად გაართულა საერთო მდგომარეობა.

აღნიშნულ მდგომარეობასთან დაკავშირებით ხიფათს წარმოადგენს ჰიდროსადგურების კასკადის შექმნა თურქეთში მდ. ჭოროხზე, 1315±52 მ ნიშნულზე (კილია – 1315±1190 მ; საღებოლაზი – 1000±890 მ; უზუღლუ – 890±720 მ), წყალსაცავების მოცულობა 200 მლნ.მ³; იუზუფელი – 720±500 მ, წყალსაცავის მოცულობა 300 მლნ.მ³; ზეითფლინი – 500±365 მ; ართვინი – 355±19 მ; ბორჩხა – 176±104 მ, წყალსაცავის მოცულობა 310 მლნ.მ³; ფურათლი – 32±52 მ და სხვ.).

კასკადის ნაგებობები, პრაქტიკულად, შეაკავეს მდინარის მთელ მყარ ჩამონადენს და შეცვლის თხევადი ჩამონადენის შიდაწლიურ განაწილებას. მყარი და თხევადი ჩამონადენების რეჟიმის დარღვევამ შეიძლება გამოიწვიოს კალაპოტური დეფორმაციები მდინარე ჭოროხის ქვედა წელში და ზღვის სანაპიროს გარეცხვა ბათუმი-ქობულეთის მიმართულებით.

მთის წყალსაცავებში ნატანის მოძრაობა და დაგროვება სპეციფიკურობით ხასიათდება. აკუმულაციური ხასიათის წარმონაქმნები, ძირითადად, არ არსებობს. ფერდობების მაღალი ქანობის შედეგად, გარეცხილი ქანების ჩამოტანა და წყლის დონის პერიოდული ვარდნა, რომელსაც ჩამოაქვს ძირს ნატანი, ძირითადად მიმდინარეობს სიღრმეში, მდინარის ფსკერზე.

ქარის ძალისა და მიმართულებების მზარდი ცვლილებისას და სანაპირო ზოლის დასერილობის გამო მთის წყალსაცავებზე მკვეთრად გამოსახული ნატანის ნაკადი არ ფორმირდება. ამის მიზეზი, უპირველეს ყოვლისა, არის ქარის მოქმედების პერიოდის სიმცირე, რომლის დროსაც ვერ ესწრება ნატანის ნაკადის ფორმირება. მეორე ის, რომ დიდი დახრილობა განაპირობებს ნატანის გადაადგილებას ფსკერზე, და მესამე – სანაპიროს ინტენსიური დასერილობა უზრუნველყოფს მის წატაცებას ყურეებითა და სანაპიროს ხვეულებით.

მთის წყალსაცავებზე ნატანის მოძრაობისა და დაგროვების საკითხების გაანალიზებისას განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს თვით წყალსაცავის ქვაბულის ფორმირებას. თუ ვაკის წყალსაცავებზე ნაღველების მასალას, ძირითადად, წარმოადგენს სანაპიროს აბრაზიისა და ნგრევის პროდუქტები, მთის წყალსაცავებზე ძირითადი მასალაა წყალსაცავში ჩამდინარე მდინარეებისა და ხეების გამონატანი. მთის

ჩამონადენის ნატანით მაღალი წყალგაჯერებულობის გამო ნაგებობის ზედა ბიეფში ხდება ნალექების სწრაფი დაგროვება.

სათავე ჰიდროკანძის ზედა ბიეფში დაგროვებული ნალექები შეიცავს როგორც შეტივნარებულ, ისე ფსკერულ ნატანს. ნატანის დაგროვების პროცესის ხასიათი და სიჩქარე იცვლება მისი რაოდენობისა და ფრაქციული შემადგენლობის მიხედვით.

მთის წყალსაცავების დაღამვისა და დაღექვის სისტემატურმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ ის დამოკიდებულია წყალსაცავების რეგიონალურ თავისებურებებზე.

წყალსაცავის ფსკერზე ნალექების განაწილება განსხვავებულია. მთის წყალსაცავზე დაფიქსირებულია თანდათანობითი გადაადგილება კაშხლისკენ, რაც დაკავშირებულია შემღვრეული ფსკერული ნაკადების მოქმედებასთან.

ასეთი ტიპის ნაკადები შეინიშნება იმ წყალსაცავებში, რომლებშიც გავრცელებულია წვრილი ($d < 0,02$ მმ), ძირითადად, ლამოვანი ნატანი (ლაჯანური, ხრამი, სიონი), ამასთან, რადგან წყალსაცავის ფსკერის დახრილობა საკმაოდ დიდია, აღნიშნული ნაკადების მოძრაობა გრძელდება იმ მდინარეებში წყალდიდობის გავლის შემდეგაც, რომლებიც კვებავს წყალსაცავს.

შემონადენის ხასიათის მიხედვით გამოიყოფა წყალსაცავების სამი ტიპი: 1. ტბური ტიპის წყალსაცავი; 2. მცირეწყლოვანი კალაპოტური წყალსაცავი; 3. ღრმაწყლიანი კალაპოტური წყალსაცავი.

პირველი ტიპის წყალსაცავის ღრმაწყლოვანი ზონის დაღამვის პროცესი დამოკიდებულია აუზის ფერდობულ ეროზიაზე და თითქმის არ აისახება სანაპირო ფერდობების განვითარებაზე.

მეორე ტიპის წყალსაცავის ნატანის დაღექვაზე ზეგავლენა უფრო მეტად ძლიერია და ხელს უწყობს სანაპირო მეჩენების ფორმირებას, აგრეთვე ამცირებს დონეთა ცვალებადობის საზღვრებს. ამ ზეგავლენის გათვალისწინება აუცილებელია სანაპირო ფერდობების გამაგრების ქვედა საზღვრის დანიშნისას, რომელიც ამ პირობებში შეიძლება გადაადგილებულ იქნეს ზემოთ, ფერდობის მიმართულებით.

მესამე შემთხვევაში შემონატანის ზეგავლენა აღინიშნება, ძირითადად, წყალსაცავის ბოლოში, რადგან წყალსაცავის შუა ნაწილის დიდი სიღრმეები მნიშვნელოვნად ახანგრძლივებს მკვდარი მოცულობის შევსებას. წყალსაცავის დაღამვის მაღალი ტემპი, რომელიც ერთობლივად მიმდინარეობს მდინარეული გამონატანისა და ციცაბო ფერდობების ჩამონგრევის ხარჯზე, დადებით როლს ასრულებს ფერდობული პროცესების სტაბილიზაციის საქმეში, ვინაიდან მათ ძირში ქმნის ნალექების ბუნებრივ საყრდენს და ხელს უშლის მეწყერის შემდგომ განვითარებას.

წყლის ჰორიზონტის მკვეთრი დაწევა წყალსაცავებში მოყვება საყრდენის გამოსოფლის წერტილის გადაადგილებას კაშხლის მიმართულებით. ამიტომ წყალსაცავის ბოლოში ტბური რეჟიმი პერიოდულად იცვლება კალაპოტურით, რასაც თან ახლავს ფერდობების სტატიკური პირობების გაუარესება, ქანების სიმკვრივის ცვლილება, კალაპოტის გრძივი გარეცხვა და ნატანის გადაადგილება, რაც განაპირობებს ნალექების პრიზმების გადაადგილებას მდინარის მიმართულებით. ამ მდგომარეობის გათვალისწინება აუცილებელია სანაპირო ფერდობების დამუშავების პროგნოზისათვის დრმაწელიანი წყალსაცავების ბოლო ნაწილში.

მთის წყალსაცავების ფორმირების სპეციფიკური ხასიათი განაპირობებს ნაპირების სრულიად განსაკუთრებული ფორმით განვითარებას, რასაც ჩვენ აღუვიურ-აკუმულატურს ვუწოდებთ. ვერტიკალურ კვეთში ნალექების დასტას აქვს რთული აგებულება. შრეები განსხვავდება როგორც ფრაქციული შემადგენლობით, ისე დალექვის ხასიათით. უმეტესად ჭარბობს ლამოვანი ფრაქცია, თუმცა გვხვდება სუფთა ქვიშების განფენებიც.

აღნიშნული ნალექების ზედაპირის აგებულება და მისი დასტების შემადგენლობა გვაძლევს უფლებას გამოვყოთ სანაპიროს ორი სახეობა:

- ხევებისა და წვრილი წყალსადინარების შესართავისპირა აკუმულაციური სანაპირო. მის ზედაპირს აქვს გამობერილი ფორმა, ხოლო აგებულებაში მონაწილეობას იღებს სხვადასხვა ზომის მასალა (ლამებიდან – კენჭნარამდე), შრეების ირიბი დაქანებით. ამ ნალექების ზედაპირზე შეიმჩნევა ჩამონადენის ერთი ან რამდენიმე არხი, რომელთაც გააჩნია ციცაბო გვერდები, შეჭრილი ნალექებში;

- სანაპირო აკუმულაციურ ვაკეს ძირითადი მდინარეების შესართავში გააჩნია ფართო, გლუვი ზედაპირი, რომელიც იყოფა ორ უბნად: ქვედა კიდისპირა და ზედა – შესართავისპირა. ისინი ერთმანეთისაგან განსხვავდება როგორც ზედაპირის აგებულებით, ისე ნალექების შემადგენლობით.

3.4. მთის წყალსაცავებში წყლის ხარისხის ფორმირება და თვითგაწმენდის პროცესები

3.4.1. წყლის ხარისხის კლასიფიკაცია

წყალსაცავებში აკუმულირებული წყლის ხარისხი მიეკუთვნება მნიშვნელოვანი მაჩვენებლების რიცხვს, რომელიც განსაზღვრავს წყლის და ბიოლოგიური რესურსების ეფექტური და რაციონალური გამოყენების შესაძლებლობას.

წყლის ხარისხის ერთიანი კრიტერიუმები მიღებულია „ერთიანი კრიტერიუმების“ [1982] გამოყენებით. წყლის ხარისხის ნორმატივები – ეს არის წყლის ფიზიკურ-ქიმიური შედგენილობისა და ბიოლოგიური მდგომარეობის დასაშვები (ზღვრული სიდიდის) მაჩვენებლები, რომლებიც პასუხობს სხვადასხვა წყალმომხმარებლის მოთხოვნებს. ეს თვისებები შენარჩუნებული უნდა იყოს გარემოს პარამეტრების: ჰიდროლოგიური, ჰიდროგეოლოგიური, ჰიდრობიოლოგიური, კლიმატური და სხვ. – გარკვეული სიდიდის დროს. ამასთან დაკავშირებით, „წყლის ხარისხის კლასი“ – ეს წყლის ხარისხის ისეთი მდგომარეობაა, რომელიც განისაზღვრება მაჩვენებლების სიდიდის ნორმატიული კომპლექსით და უკავშირდება ეკოსისტემების ფუნქციონირებას და წყალმომხმარებლის მოთხოვნებს.

წყალსაცავების წყლის სისუფთავის ხარისხის განსაზღვრისას გამოიყენება კლასიკური ჰიდრობიოლოგიური განმარტებები, კერძოდ, მათი ტროფიულობის შეფასება, რომელიც უკავშირდება ბუნებრივი წყლის ხარისხის წყალსამეურნეო მაჩვენებლების მახასიათებლებს. მაგალითად, ითვლება, რომ წყალსაცავის ოლიგოტროფულობას შეესაბამება საკმაოდ სუფთა წყალი, მეზოტროფულობას – სუფთა, სუსტ ევტროფულს – საკმაოდ უმნიშვნელოდ დაბინძურებული, ძლიერ ევტროფულს – უმნიშვნელოდ დაბინძურებული, პოლიტროფულს – ძლიერ დაბინძურებული, ჰიპერტროფულს – საკმაოდ მაღალი ხარისხის დაბინძურებული.

წყალსაცავში წყლის ხარისხი წარმოადგენს ერთ-ერთ მთავარ მაჩვენებელს, რაც განსაზღვრავს წყალსაცავის ეფექტური გამოყენების შესაძლებლობას. მთის წყალსაცავებში ხარისხი განისაზღვრება მაჩვენებლების ხუთი ჯგუფით (ცხრ. 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3).

- ა. საერთო ფიზიკური მაჩვენებლები და შენარჩუნების კონცენტრაციის მაჩვენებლები (მგ/ლ); ტემპერატურა; pH-ის სიდიდე; გახსნილი ჟანგბადის რაოდენობა; შეტივტივებული და გახსნილი ნივთიერებების საერთო რაოდენობა; სიხისტე; ქლორიდების, სულფატების, რკინის, მანგანუმის, ამონიუმის, ნიტრატების რაოდენობა და სხვ;
- ბ. ორგანული ნივთიერებების კონცენტრაციის მაჩვენებლები: პერმანგანატული და ბიქრომატული დაჟანგულობა; ჟანგბადის ბიოქიმიური მოხმარება; ექსტრაგირებული ნივთიერებები; ორგანული ნახშირბადი და ორგანული აზოტი;
- გ. არაორგანული დამაბინძურებელი ნივთიერებების კონცენტრაციის მაჩვენებლები: ვერცხლისწყალი, კადმიუმი, ტყვია, სპილენძი, დარიშხანი, ქრომი, ნიკელი, ციანიდები, სულფიდები, ფტორიდები;

- დ. ორგანული სამრეწველო დამაბინძურებელი ნივთიერებების კონცენტრაციის მაჩვენებლები: ანიონ-აქტიური დეტერგენტები; აქროლებადი ფენოლები; ნავთობის წარმოებულები;
- ე. ბიოლოგიური მაჩვენებლები: მიკროორგანიზმების საერთო რაოდენობა და სპეციფიკური მაჩვენებლები (ფეროვნება, სუნი და ბარიუმის, ბორის, ლითიუმის, მოლიბდენის არსებობა და სხვ.).

ცხრილი 3.4.1

სხვადასხვა მიზნებისათვის გამოყენებული წყლის ხარისხის მაჩვენებლების სასურველი და დასაშვები სიდიდეები

წყლის ხარისხის მაჩვენებლები	სიდიდე	
	სასურველი	დასაშვები
1	2	3
სასმელი წყალმომარაგება		
A ჯგუფი		
ტემპერატურა °C	15	20
pH სიდიდე	6,5-8,0	6,5-8,5
გაზსნილი ნივთიერებების საერთო რაოდენობა, მგ/ლ	400	800
საერთო სიხისტე (H°)	15	20
ქლორიდები, მგ/ლ	100	300
სულფატები, მგ/ლ	100	400
რკინა, საერთო, მგ/ლ	0,3	0,5
მანგანუმი, საერთო, მგ/ლ	0,05	0,1
ამონიუმი, მგ/ლ	0,05	1,0
ნიტრიტები, მგ/ლ	0,0	0,002
ნიტრატები, მგ/ლ	5,0	10,0
B ჯგუფი		
პერმანგანატული დაჟანგულობა (XPK O ₂ მგ/ლ)	5,0	10,0
ბიქრომატული დაჟანგულობა (XPK O ₂ მგ/ლ)	15,0	25,0
ჟანგბადის ბიოქიმიური მოხმარება (BPK ₅ O ₂ მგ/ლ)	3-4	5
ექსტრაგირებული ნივთიერებები (CCl ₄ მგ/ლ)	0,2	0,5
B ჯგუფი		
ვერცხლისწყალი, მკგ/ლ	–	1
კადმიუმი, მკგ/ლ	–	10
ტყვია, მკგ/ლ	–	50
დარიშხანი, მკგ/ლ	–	50
სპილენძი, მკგ/ლ	–	1100

ცხრილი 3.4.1 (გაგრძელება)

1	2	3
ქრომი (საერთო), მკგ/ლ	–	–
ნიკელი, მკგ/ლ	–	100
თუთია, მკგ/ლ	–	5
ადვილად განთავისუფლებადი ციანიდები, მგ/ლ	–	0,05
ციანიდების საერთო რაოდენობა, მგ/ლ	–	–
ფტორიდები, მგ/ლ	1,0	1,5
Γ* ჯგუფი		
ანიონ-აქტიური დეტერგენტები, მგ/ლ	–	–
აქროლებადი ფენოლები, მგ/ლ	–	–
ნავთობის წარმოებულები, მგ/ლ	–	–
სპეციფიკური მაჩვენებლები**		
შეფერილობა, მგ Pt/ლ	10	20-30
სუნი	–	–
ბარიუმი, მგ/ლ	0,1	1-4
ბორი, მგ/ლ	0,5	1,0
სელენი, მკგ/ლ	–	10,0
ვერცხლი, მკგ/ლ	–	50,0
ვანადიუმი, მკგ/ლ	–	–
სოფლის მეურნეობაში სარწყავად გამოყენებული წყალი		
A ჯგუფი		
pH სიდიდე	6,0-8,5***	5,9-9,0
გახსნილი ნივთიერებების საერთო რაოდენობა, მგ/ლ	500	1200
ქლორიდები, მგ/ლ	300	400
რკინა, საერთო, მგ/ლ	1,5	10,0
მანგანუმი, საერთო, მგ/ლ	0,2	0,8
ბ ჯგუფი		
რეგლამენტირებული არ არის		
ბ ჯგუფი		
ვერცხლისწყალი, მკგ/ლ	5	5
კადმიუმი, მკგ/ლ	–	30
ტყვია, მკგ/ლ	–	200
დარიშხანი, მკგ/ლ	–	200
სპილენძი, მკგ/ლ	–	500
ქრომი (საერთო), მკგ/ლ	–	500
კობალტი	–	500
ნიკელი, მკგ/ლ	–	500

ცხრილი 3.4.1 (გაგრძელება)

1	2	3
თუთია, მკგ/ლ	–	10
ფტორიდები, მკგ/ლ	1,5	3,0
სპეციფიკური მაჩვენებლები		
ნატრიუმის პროცენტული ეკვივალენტი	35	35
ალუმინი, მკგ/ლ	–	20
ბერილიუმი, მკგ/ლ	–	200
ბორი, მკგ/ლ	0,5	1,0
ლითიუმი, მკგ/ლ	0	2,0
მოლიბდენი, მკგ/ლ	–	50
სელენი, მკგ/ლ	–	20,0
ვანადიუმი, მკგ/ლ	–	1000
წყლის ხარისხის მაჩვენებლები, რომლებიც უზრუნველყოფს გამდინარე წყლების იქტიოფაუნის შენარჩუნებას		
A ჯგუფი		
ოჯ. საღმონიტების თევზების გამრავლებისათვის საჭირო ზაფხულის მაქსიმალური ტემპერატურა °C	–	20
pH სიდიდე	6,5-8,0	6,5-8,5
გახსნილი ჟანგბადის რაოდენობა, მკგ/ლ	>6,0	4,0
გახსნილი ნივთიერებების საერთო რაოდენობა, მკგ/ლ	400	800
შეტივტივებული ნივთიერებების საერთო რაოდენობა*, მკგ/ლ	–	–
რკინა, საერთო*, მკგ/ლ	–	–
ამონიუმი, მკგ/ლ	0,1	0,5
ფოსფატები, მკგ/ლ	0,05	0,2
საერთო ფოსფორი (PO ³⁻ ₄ , მკგ/ლ)	0,1	0,5
B ჯგუფი		
ბიქრომატული დაჟანგულობა (XPK O ₂ მკგ/ლ)	<15,0	25,0
ჟანგბადის ბიოქიმიური მოხმარება (BPK ₅ O ₂ მკგ/ლ)	<2,0	3
ორგანული ნახშირბადი, მკგ/ლ	<2,0	6
ორგანული აზოტი, მკგ/ლ	–	2
B ჯგუფი		
ვერცხლისწყალი, მკგ/ლ	–	0,2-1,0
კადმიუმი, მკგ/ლ	–	5

ცხრილი 3.4.1 (გაგრძელება)

1	2	3
ტყვია, მკგ/ლ	–	100
დარიშხანი, მკგ/ლ	–	50
ქრომი (საერთო*), მკგ/ლ	–	–
ნიკელი*, მკგ/ლ	–	–
თუთია, მკგ/ლ	–	–
ადვილად განთავისუფლებადი ციანიდები, მგ/ლ	–	0,002
ციანიდების საერთო რაოდენობა, მგ/ლ	–	0,02-0,05
Γ ჯგუფი		
ანიონ-აქტიური დეტერგენტები, მგ/ლ	–	0,1-0,5
აქროლებადი ფენოლები, მგ/ლ	–	0,01
ნავთობის წარმოებულები, მგ/ლ	–	0,05

* – დგინდება „ნაციონალური სტანდარტების“ თანახმად

** – სხვა სპეციფიკური ნივთიერებები, მათ შორის პესტიციდები, რომლებიც ცხრილში არაა მითითებული, განისაზღვრება „ნაციონალური სტანდარტების“ მიხედვით

*** – ტუტე ნიადაგებისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს წყალი, რომლის pH სიდიდე <6,0.

ცხრილი 3.4.2

**ზედაპირული წყლების ხარისხის ნორმატივები
ეკოლოგიური პოზიციების მიხედვით**

მაჩვენებლები	წყლის ხარისხის კლასი					
	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7
A არაორგანული ნივთიერებების მაჩვენებლები და საერთო მაჩვენებლები						
ტემპერატურა °C	<20	25	25	30	>30	>30
pH სიდიდე	6,5-8,0	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-8,5	6,0-9,0	6,0-9,0
გახსნილი ჟანგბადი O ₂ მგ/ლ	>8	6	5		2	<2
გაჯერებული O ₂ (გაჯერებულობის %)	>90	75	60	40	20	<20
გახსნილი ნივთიერებების საერთო რაოდენობა, მგ/ლ	<300	500	800	1000	1200	>1200

ცხრილი 3.4.2 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7
შეტივტივებული ნივთიერებების საერთო რაოდენობა, მგ/ლ	<20	30	50	100	200	>200
საერთო სიხისტე (H°)	<15	20	30	40	50	>50
ქლორიდები, მგ/ლ	<50	150	200	300	500	>500
სულფატები, მგ/ლ	<50	150	200	300	400	>400
რკინა, საერთო, მგ/ლ	<0,5	1	1	5	10	>10
მანგანუმი, საერთო, მგ/ლ	<0,05	0,1	0,3	0,8	1,5	>1,5
ამონიუმი, მგ/ლ	<0,1	0,2	0,5	2,0	5,0	>5,0
ნიტრიტები, მგ/ლ	<0,002	0,0035	0,02	0,05	0,1	>0,1
ნიტრატები, მგ/ლ	<2	3	5	10	20	>20
ფოსფატები, მგ/ლ	<0,025	0,2	0,5	1,0	2,0	>2,0
საერთო ფოსფორი, მგ/ლ	<0,05	0,4	1,0	2,0	3,0	>3,0
ბ ორგანული ნივთიერებების საერთო მაჩვენებლები						
ქიმიური მოთხოვნილება ჟანგბადზე (ΠΟ – O ₂ , მგ/ლ)	<5	10	20	30	40	>40
ქიმიური მოთხოვნილება ჟანგბადზე (ΒΟ – O ₂ , მგ/ლ)	<15	25	50	70	100	>100
ბიოქიმიური მოთხოვნილება ჟანგბადზე (ΒΠΚ ₅ – O ₂ , მგ/ლ)	<2	4	8	15	25	>25
ორგანული ნახშირბადი, მგ/ლ	<3	5	8	12	20	>20
ექსტრაგირებული ნივთიერებები, მგ/ლ	<0,2	0,5	1,0	3,0	5,0	>5,0
ორგანული აზოტი, მგ/ლ	<0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	>10,0
ბ არაორგანული სამრეწველო დაბინძურების მაჩვენებლები						
ვერცხლისწყალი, მკგ/ლ	<0,1	0,2	0,5	1,0	5,0	>5,0
კადმიუმი, მკგ/ლ	<3	5	10	20	30	>30
ტყვია, მკგ/ლ	<10	20	50	100	200	>200
ქრომი (საერთო), მკგ/ლ	<0	20	20	50	100	>100
დარიშხანი, მკგ/ლ	<10	20	50	110	200	>200
სპილენძი, მკგ/ლ	<20	50	100	200	500	>500
კობალტი, მკგ/ლ	<10	20	50	100	500	>500
ნიკელი, მკგ/ლ	<20	50	100	200	500	>500
თუთია, მკგ/ლ	<0,2	1,0	2,0	5,0	10,0	>10,0
ციანიდების საერთო რაოდენობა:						
თავისუფალი ქლორი, მგ/ლ	0,0	0,0	0,0	<0,005	0,1	>0,1
სულფიდები, მგ/ლ	0,0	0,0	0,0	0,01	0,02	>0,02

ცხრილი 3.4.2 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7
Γ სამრეწველო დამაბინძურებელი ორგანული ნივთიერებების მაჩვენებლები						
ანიონ-აქტიური დეტერგენტები, მგ/ლ	0,0	<0,5	1,0	2,0	3,0	>3,0
აქროლებადი ფენოლები, მგ/ლ	<0,002	0,01	0,05	0,1	1,0	>1,0
ნაეთობის წარმოებულები, მგ/ლ	0,0	<0,05	0,1	0,3	1,0	>1,0
Δ ბიოლოგიური მაჩვენებლები						
საპრობულობა (პანტლეგ-ბუკის ინდექსი)	<1,0	1,5	2,5	3,5	4,0	>4,0
სლადეჩეკის მოდიფიკაცია	ქსენო საპრობულობა	ოლიგო საპრობულობა	ბეტა-მეზო საპრობულობა	აღფა-მეზო საპრობულობა	პოლი საპრობულობა	ჰიპერ საპრობულობა
კოლი-ტიტრი (ფეკალური ტიპის)	1	0,1	0,01	0,001	<0,001	>0,001
მიკროორგანიზმების საერთო რიცხვი	<5·10 ⁵	<10 ⁶	<3·10 ⁶	<5·10 ⁶	<10 ⁷	>10 ⁷
ბიოქიმიური ტრანსფორმაციის ინტენსივობის შემცირება	0	0	<10%	<30%	<70%	>70%

წყალმოსხმარების კონკრეტული ამოცანების გადასაწყვეტად ბუნებრივი წყლის, მათ შორის წყალსაცავებში არსებული წყლის ხარისხის შეფასება ამაჟამად წარმოებს, ძირითადად, მისი ვარგისიანობის მიხედვით. ამიტომ ფართოდ გამოიყენება ბუნებრივი წყლების კლასიფიკაციის შემოკლებული ვარიანტი, რომელიც ითვალისწინებს მისი ხარისხის სამ მაჩვენებელს: I ხარისხი – ვარგისი წყალი; II – წყალი, რომელიც გამოსაყენებლად დაშვებული იქნება მისი დამუშავების შემდეგ; III – უვარგისი წყალი.

როგორც ჩანს, წყლის ხარისხის მაჩვენებლების სასურველი და დასაშვები სიდიდეები, რომლებიც გამოიყენება სასმელ წყალმომარაგებაში, მოსარწყავად, სათევზე მეურნეობის მიზნებისათვის, რიგ შემთხვევებში განსხვავებულია.

განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს წყლის ხარისხის სანიტარულ-ბიოლოგიური მაჩვენებლები, რომლებიც განსაზღვრავს მის ვარგისიანობას სასმელად და სამეურნეო მიზნებისათვის.

გაუმდინარე წყლის ხარისხის მაჩვენებლები და ნორმატივები

მაჩვენებელი	პერიოდი, წყლის აღების ადგილი	წყლის ხარისხის კლასი					
		I	II	III	IV	V	VI
1	2	3	4	5	6	7	8
წყლის ჟანგბადით გაჯერების საშუალო %	ზაფხულის სტაგნაციის პიკი, ჰიპოლიმნიონი	>60	≥20	>10	≥0	0	0
ჟანგბადის რაოდენობა, მგ/ლ	ზაფხულის სტაგნაციის პიკი, ფსკერთან	≥4	≥2	≥1	≥0	0	0
XΠK (ბიქრომატული) O ₂ , მგ/ლ	ზაფხულის სტაგნაციის პიკი, ეპილიმნიონის ფენა	≤10	≤20	≤30	≤50	≤0,1	>0,1
ფოსფატები (PO ₄ ³⁻), მგ/ლ	საზაფხულო ცირკულაცია, ზედაპირული ფენა	≤0,010	≤0,020	≤0,040	≤0,080	≤0,1	>0,1
საერთო ფოსფორი, მგ/ლ	საზაფხულო ცირკულაცია და საზაფხულო სტაგნაცია, (ზედაპირული ფენის საშუალო მნიშვნელობა)	≤0,025	≤0,050	≤0,100	≤0,200	≤0,300	>0,300
საერთო აზოტი, მგ/ლ	იგივე	≤0,5	≤1,0	≤1,5	≤2,0	≤5,0	>50,
ქლოროფილი, მგ/მ ³	იგივე	3	8	15	30	60	>50
სესტონის მშრალი მასა, განსაზღვრული წონითი მეთოდით, მგ/დმ ³	იგივე	2	4	8	15	30	>30
გამჭვირვალობა სეკის დისკის მიხედვით, მ	იგივე	6	4	2	1	0,5	>0,5

ჰიდროლოგიური რეჟიმის თავისებურებების გამო, მთის წყალსაცავები განსხვავდება ტბებისა და ვაკის წყალსაცავებისაგან, თუმცა ზედაპირული წყლების ხარისხის ნორმატივები, როგორც გამდინარე, ისე გაუმდინარე წყალსატევებისათვის, ერთნაირია. ეს განპირობებულია იმით, რომ ერთსა და იმავე წყალსაცავში არის მდინარეული და ტბისეული უბნები. წყლის მარაგის გამოყენების ხასიათის, წყლის მიმოცვლის ინტენსივობის მიხედვით წყალსაცავების რეჟიმი შეიძლება მიუახლოვდეს როგორც გამდინარე, ისე მცირედ გამდინარე ტიპის წყალსატევებს.

როგორც ნაჩვენებია ცხრილებში 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3, გამოიყოფა წყლის ხარისხის 6 კლასი: I კლასი – ძალიან სუფთა, II კლასი – სუფთა, III კლასი – ძალიან უმნიშვნელოდ დაბინძურებული, IV კლასი – უმნიშვნელოდ დაბინძურებული, V კლასი – დაბინძურებული, VI კლასი – ძალიან ძლიერ დაბინძურებული წყალი. თითოეული კლასი, ტროფულობის მიხედვით, მიახლოებით შეესაბამება ცნებებს – ოლიგოტროფული, მეზოტროფული, სუსტად ევტროფული, ძლიერ ევტროფული, პოლიტროფული, ჰიპერტროფული (საპროტროფული). წყლის ხარისხის კლასზეა დამოკიდებული მისი გამოყენების შესაძლებლობა სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგში. I კლასის ხარისხის წყალი გამოიყენება სასმელ წყალმომარაგებაში, მინიმალური გაწმენდის შემდეგ, სხვა დანარჩენ დარგებში კი წინასწარი გაწმენდის გარეშე; II კლასის ხარისხის წყალი საჭიროებს საკმაოდ რთულ გაწმენდას სასმელ წყალმომარაგებაში გამოსაყენებლად, სხვა დარგებში ხშირად გამოიყენება წინასწარი გაწმენდის გარეშე; III კლასის ხარისხის წყალი სასმელი და სხვა სამრეწველო მიზნებისათვის საჭიროებს რთულ გაწმენდას, ზოგ შემთხვევაში (მორწყვა) შეიძლება გამოყენებული იყოს გაწმენდის გარეშე; IV კლასის ხარისხის წყალი გაწმენდის შემდეგაც კი უვარგისია სასმელი წყალმომარაგებისათვის, სათევზე მეურნეობაში, რეკრეაციული და სამრეწველო მიზნებისათვის, საჭიროებს მეტად რთულ გაწმენდას; V კლასის ხარისხის წყალი შეიძლება პირობითად გამოყენებული იყოს მოსარწყავად, მაგრამ უვარგისია სხვა მიზნებისათვის; VI კლასის ხარისხის წყალი პრაქტიკულად გამოუყენებელია წყალმომარაგების ყველა სახეობისათვის.

ამრიგად, წყალსაცავებში I-III კლასის ხარისხის წყლის შენარჩუნების მნიშვნელობა ნათელია, თუმცა წყლის შენარჩუნება და მისი ხარისხის მიმართული რეგულირება წყალსაცავებში შეიძლება განხორციელდეს მხოლოდ მისი ფორმირების ზოგადი და რეგიონალური კანონზომიერებების ყოველმხრივი შეცნობის საფუძველზე.

**3.4.2. საქართველოს მთის წყალსაცავების
წყლის ხარისხის ფორმირების კვლევები**

1990-2010 წლებში ჩატარებული კვლევების შედეგები წყლის ხარისხის ფორმირებაზე სიონის და ალგეთის წყალსაცავებზე მოყვანილია ცხრილებში 3.4.4, 3.4.5, 3.4.6.

ცხრილი 3.4.4

**სიონისა და ალგეთის წყალსაცავების მინერალიზაციის
ძირითადი მაჩვენებლები**

№	ძირითადი მაჩვენებლები	განზ. ერთეული	რაოდენობრივი მონაცემები	
			სიონის წყალსაცავი	ალგეთის წყალსაცავი
1	2	3	4	5
1	წყალგაცვლის მაჩვენებელი	წელი	0,95	0,50
2	წყლის ჯამური მინერალიზაცია წყალსაცავში	მგ/ლ	175-246	345-420
3	მინერალიზაცია წყალდიდობისას	მგ/ლ	550	2280
4	წყლის სიხისტე	მლ.მოლი/ლ	4	20

ცხრილი 3.4.5

**წყალსაცავების წყალში ძირითადი ორგანული ნივთიერებების
შემცველობა**

№	ძირითადი მაჩვენებლები	განზ. ერთეული	რაოდენობრივი მაჩვენებლები			
			სიონის წყალსაცავი		ალგეთის წყალსაცავი	
			საშუალო	მაქსიმალური	საშუალო	მაქსიმალური
1	2	3	4	5	6	7
1	ფერადი წყლები	გრადუსი	35	–	35	–
2	ბიქრომატული ჟანგბადიანობა	O ₂ მგ/ლ	10,3	25,0	8,2	40
3	პერმანგანატული ჟანგბადიანობა	O ₂ მგ/ლ	1,65	3,68	–	–
4	ფენოლის კონცენტრაცია	მგ/ლ	0,005±0,15	0,018	0,005±0,25	0,7
5	ხედაპირული აქტიური ნივთიერებები (СПАВ)	მგ/ლ	0,008±0,03	0,2	0,05±0,2	0,85
6	ნავთობპროდუქტები	მგ/ლ		0,35	0,002±0,09	0,2
7	ДДЭ	მგ/ლ	0,002	0,011	0,001±0,014	1,1

ცხრილი 3.4.5 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7
8	ДДТ	მგ/ლ	0,001	0,30	0,05±0,24	0,94
9	ჰექსოქლორატი	მგ/ლ		0,04	0,01±0,044	0,012
10	ლინდონი	მკგ/ლ	0,002	0,06	0,008±0,03	0,17

ცხრილი 3.4.6

ბიოგენური დატვირთვის ძირითადი მაჩვენებლები

№	ბიოგენური დატვირთვის ძირითადი წყაროები	წყალსაცავებზე ბიოგენური დატვირთვა, კგ/წელი						
		სიონის				ალგეთის		
		აზოტი	ფოსფორი	ბუნებრივი ფიტორების შთაინტოქსიკაცია	ნარჩენი ბიოგენური დატვირთვა	აზოტი	ფოსფორი	ნარჩენი ბიოგენური დატვირთვა
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	სელიტურის ტერიტორიების ფართობი	936,0	468,0	811,0	782,0	738,0	369,0	2915,0
2	საყოფაცხოვრებო ჩამონადენი	899,6	701,8	–	–	699,1	543,5	–
3	სახნავი მიწები	717,0	239,0	70,0	886,0	999,0	338,0	868,0
4	მეცხოველეობის ფერმები	41,6	18582,0	46,6	18572,0	295,8	32850,0	988,0
5	მეფრინველეობის ფერმები და კერძო სექტორი	460,0	46,0	5,6	488,0	345,0	55,9	შთაინტოქსიკაცია
6	სამრეწველო ჩამონადენი	–	–	–	–	125,0	970,0	1732,0
7	საერთო რაოდენობა წელიწადში	3054,2	20036,8	936,4	20128,0	3201,9	35126,4	6503,0

მარილიანობისა და აირის რეჟიმის სეზონური და მრავალწლიური დინამიკის ფორმირება ორივე წყალსაცავზე არაერთგვაროვანია. ალგეთის წყალსაცავში მინერალიზაციის უფრო მაღალი მაჩვენებლები შეიძლება აიხსნას მისი მდებარეობით უფრო გვაღვიან რაიონში და სამრეწველო ჩამონადენის არსებობით. მთავარი იონების შემცველობა სიონის წყალსაცავის წყალში დაფიქსირებული არ არის.

ალგეთის წყალსაცავში შეინიშნება მაჩვენებლების გაზრდა სეზონურ (ზამთარი) და მრავალწლიურ ჭრილში. ჟანგბადის განაწილება თითქმის იდენტურია ორივე წყალსაცავში. მისი შემცველობა ფსკერულ ფენებში აღწევს 55-70%-ს, რაც შეიძლება დაუკავშიროთ ორივე წყალსაცავის დიდ გამდინარობას.

წყლის მცენარეთა არარსებობა შეიძლება აიხსნას ჟანგბადის მცირე ცვალებადობით დროში. O₂-ის კონცენტრაცია იზრდება ორივე შემთხვევაში: კაშხლიდან წყალსაცავის სათავისაკენ (6,2 მგ/ლ) და ფსკერიდან ზედაპირისაკენ (9,3 მგ/ლ). ამასთან, CO₂-ის კონცენტრაცია იზრდება საწინააღმდეგოდ, წყალსაცავის სათავიდან კაშხლისაკენ. ეს ცვლილებები აშკარად შეინიშნება ზაფხულში და შემოდგომაზე, და როგორც ჩანს, დაკავშირებულია ამ პერიოდში რეკრეაციის განვითარებასთან.

CO₂-ის რაოდენობა ალგეთის წყალსაცავში (17,6 მგ/ლ) მნიშვნელოვნად მაღალია, ვიდრე სიონის (10,6 მგ/ლ), თბილისის (3 მგ/ლ), ხრამის (2,4 მგ/ლ) და საქართველოს სხვა წყალსაცავებში. ეს ფაქტი და, ასევე 1988 წლიდან გოგირდწყალბადის გაჩენა შეიძლება აიხსნას წყალსაცავის კალაპოტის უხარისხო გაწმენდის შედეგად განვითარებული ანაერობული დაშლით და მცენარეთა ნარჩენების დიდი რაოდენობით წყალსაცავის ფსკერზე.

დაკვირვებებით, წყალსაცავებით დაურეგულირებელი მდინარეების დაბინძურების დონე, რიგ შემთხვევებში, აჭარბებს კიდევ წყალსაცავებში წყლის დაბინძურების დონეს. დაბინძურებული წყლების გაწმენდა და მათი გაზავება წყალსაცავებში იწვევს სიმღვრივის, ფეროვნების, სუნის, მძიმე მეტალების შემცველობის შემცირებას.

ანალოგიური მდგომარეობა შეინიშნება ჟინვალის წყალსაცავზე.

მინერალური და ორგანული ნივთიერებები წყალსაცავში ხვდება ზედაპირული და მდინარის ჩამონადენით, ატმოსფერული ნალექებით, სამრეწველო და სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო ჩამდინარე წყლებით და, ასევე, გროვდება შიდა წყალსატევური პროცესების შედეგად.

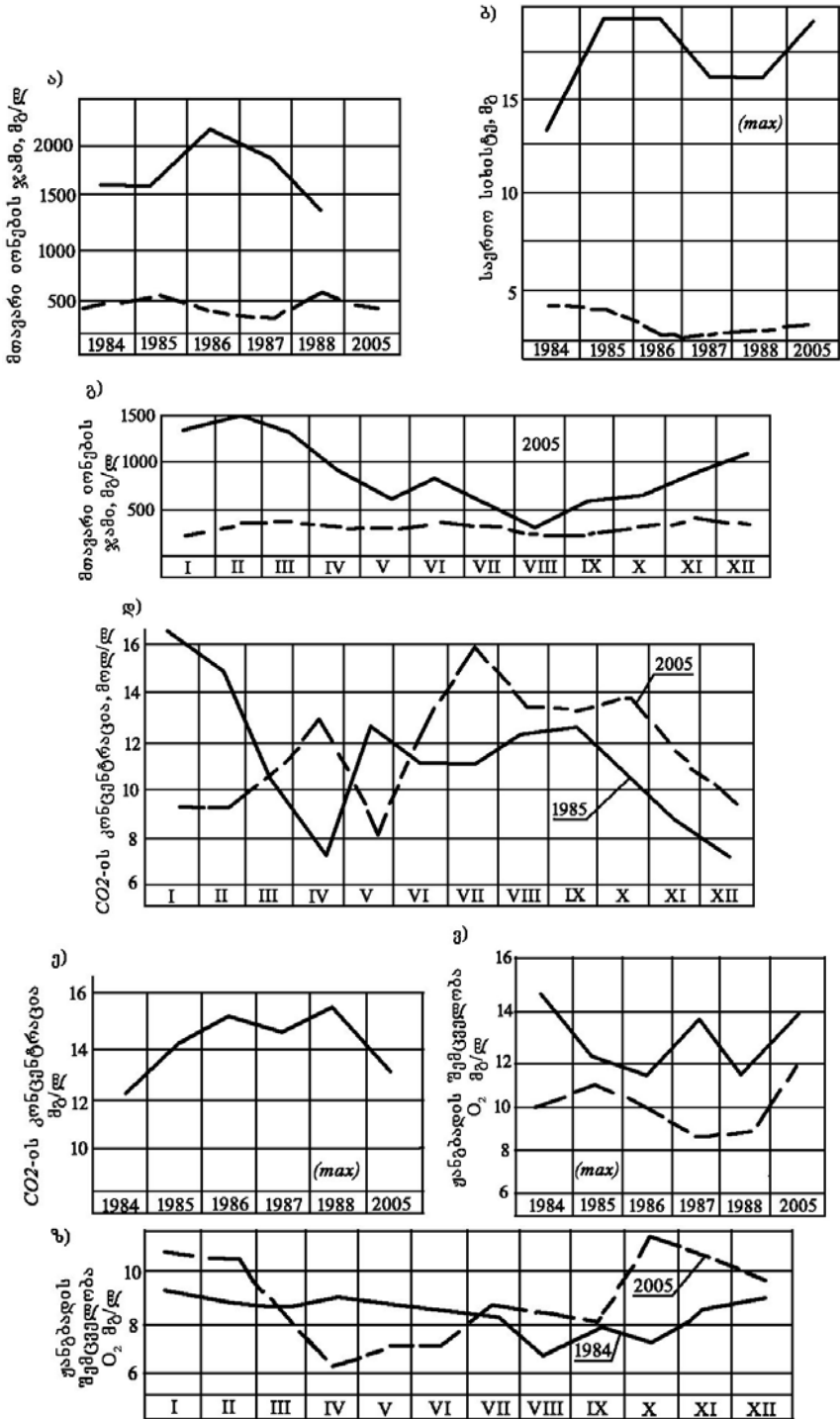
რაოდენობრივი მნიშვნელობები მცირედ განსხვავდება ორივე წყალსაცავზე. აღნიშნული დატვირთვების სპეციფიკა იწვევს წყლის ხარისხის გაუარესებას, განსაკუთრებით ზაფხულისა და შემოდგომის პერიოდში.

ძირითადი ორგანული ნივთიერებებისა და ნაერთების მაჩვენებლები ასევე მაღალია ალგეთის წყალსაცავზე (ცხრ. 3.4.5, ნახ. 3.4.1. 3.4.2).

ვერტიკალურ ჭრილში, პრაქტიკულად, ყველა ნივთიერების კონცენტრაცია იზრდება ფსკერისაკენ.

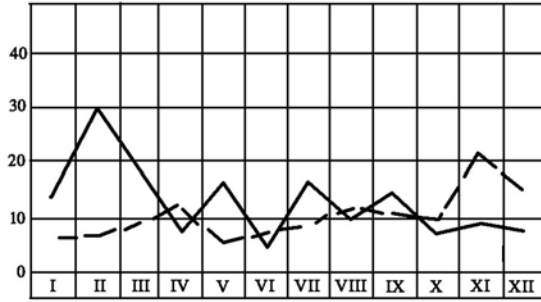
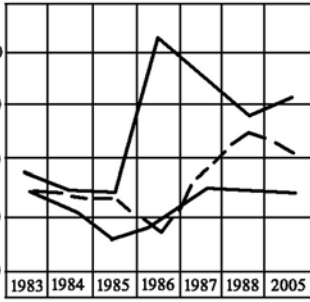
წყლის ხარისხი ალგეთის წყალსაცავში უარესია, ვიდრე სიონის წყალსაცავში. ამის ძირითადი მიზეზია უფრო ინტენსიური ანთროპოგენური დატვირთვა (ცხრ. 3.4.6).

წყალსაცავში წყლის მცირე მოცულობის გამო დაფიქსირებულია მისი არასრული გაზავება. ბუნებრივი ფილტრების მცირე ფართობი ვერ უზრუნველყოფს წყალსაცავში შემოსული ბიოგენური ნივთიერებების ნაკადის შეკავებას. ანალოგიური სიტუაცია შეინიშნება სხვა მთის წყალსაცავებზეც. ამ შემთხვევაში წყალსაცავი არის არა წყლის ხარისხის გაუარესების მიზეზი, არამედ დაბინძურების შემოსვლის მსხვერპლია. ამის მაგალითს წარმოადგენს სიონის, ალგეთის და სხვა წყალსაცავების მონაცემები (ცხრ. 3.4.7, 3.4.8, ნახ. 3.4.3, 3.4.4, 3.4.5).

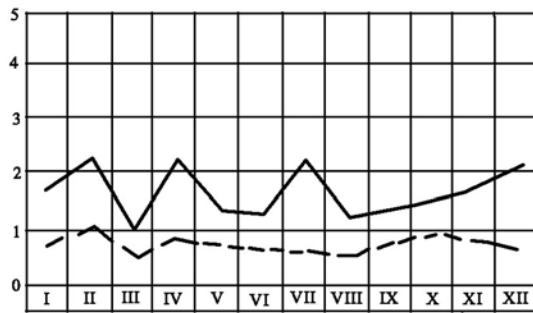
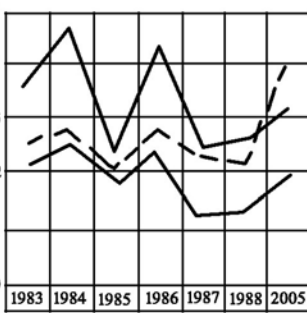


ნახ. 34.1. აირის რეჟიმის კომპონენტების განაწილება სიონის (---) და ალგეთის (—) წყალსაცავებში

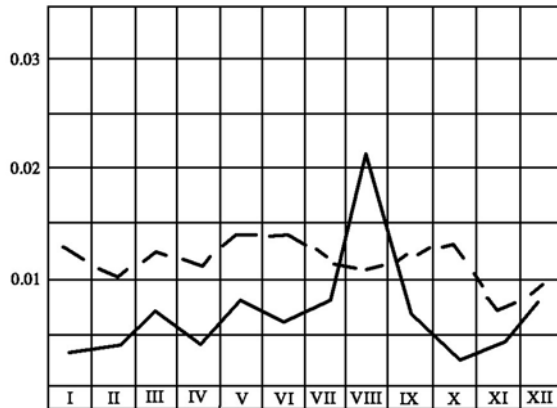
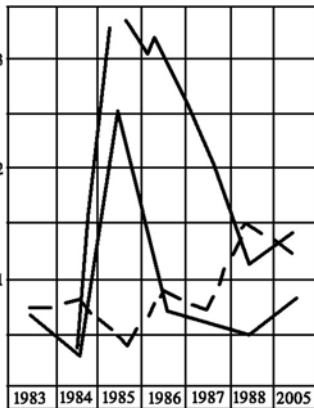
ბიქრომატული მანგანობა $XIIK O_2$ მგ/ლ



$BIIK_5 O_2$ მგ/ლ



ფენოლების შემცველობა, მგ/ლ



ნახ. 3.4.2. ორგანული ნივთიერებების განაწილება სიონის (- - - -) და ალგეთის (————) წყალსაცავებში

სიონისა და ალგეთის წყალსაცავებში წყლის ხარისხის შეფასება მისი გამოყენების მიხედვით

№	წყლის ხარისხის მაჩვენებელი	ფაქტობრივი მაჩვენებლები		დასაშვები ნორმატიული მაჩვენებლები				განზ. ერთეული
		სიონის წყალსაცავი	ალგეთის წყალსაცავი	წყალმო-მარაგება	მორწყვა	მეთევზეობა	სარწყულ-ლებელი	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
„ა“ ჯგუფი – საერთო ფიზიკური მაჩვენებლები და არაორგანული ნივთიერებები								
1	pH-ის სიდიდე	8,1	20,0	8,5	5,0÷9,0	8,5	9,0	
2	გასხნილი ნივთიერებების საერთო რაოდენობა	500,0	2250,0	800,0	1200,0	800,0	1200,0	მგ/ლ
3	რკინა (საერთო)	0,25	0,30	0,5	10,0	–	–	მგ/ლ
4	მანგანუმი	3,5	14,0	0,1	0,8	–	–	მგ/ლ
5	ნიტრიტები	0,19	0,10	0,002	–	–	0,02	მგ/ლ
6	ნიტრატები	0,5	1,5	10,0	–	–	10,0	მგ/ლ
„ბ“ ჯგუფი – ორგანული ნივთიერებების საერთო მაჩვენებლები								
7	ბიქრომატული ჟანგბადობა	24,0	32,0	25,0	–	25,0	–	მგ/ლ
8	БПК ₅	3,8	3,0	5,0	–	3,0	–	მგ/ლ
„გ“ ჯგუფი – არაორგანული, სამრეწველო ნივთიერებების და დამაბინძურებლების მაჩვენებლები								
9	ნიკელი	15,0	10,0	1000,0	200,0		1000,0	მგ/ლ
10	აქროლადი ფენოლები	0,017	0,018	–	–	0,01	0,01	მგ/ლ
11	ნაეთობის წარმოებულები	0,35	0,016	–	–	0,05	0,35	მგ/ლ

ცხრილი 34.7 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
სპეციფიკური მაჩვენებლები								
12	ფეროვნება	2,0	26,0	20,0	–	–	–	
13	СПАВ	არ არის მონაცემები	0,085	არ უნდა იყოს				
14	ქლოროვანი პესტიციდები	0,005±0,1	0,025±0,15	არ უნდა იყოს				მკგ/ლ
15	ჰექსოქლორანი	0,005	0,07	არ უნდა იყოს				მკგ/ლ
16	ლინდანი	0,005	0,02	არ უნდა იყოს				მკგ/ლ

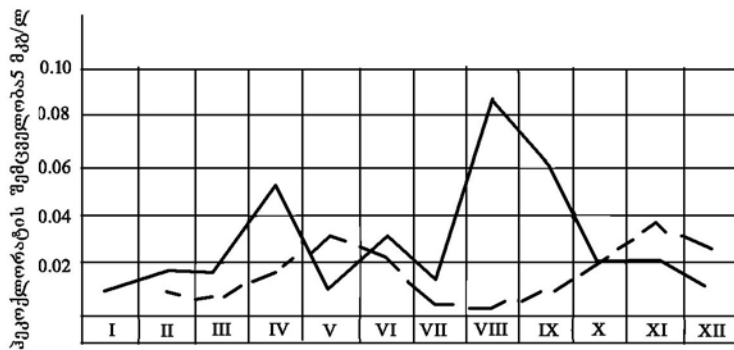
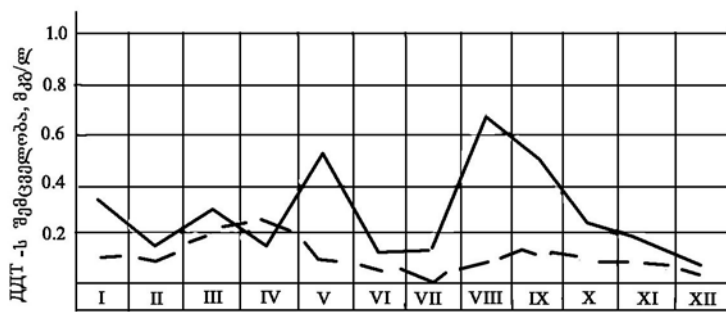
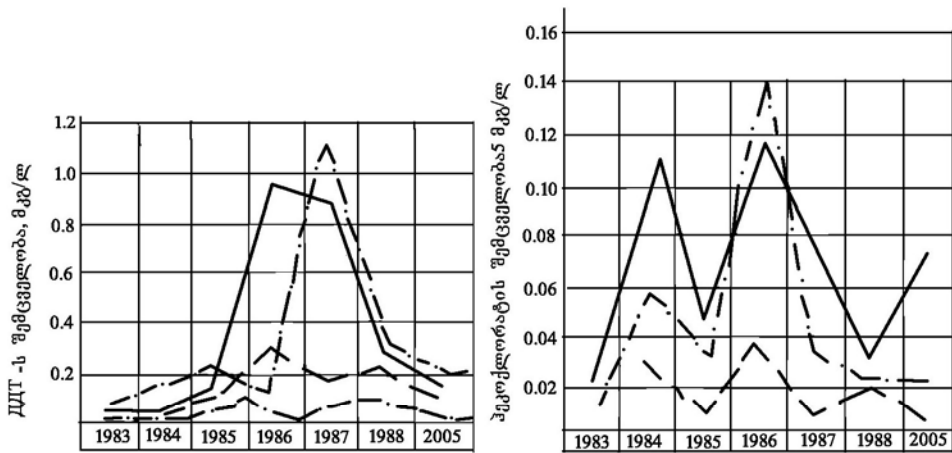
ცხრილი 34.8

წყლის ხარისხის ძირითადი მაჩვენებლები საქართველოს წყალსაცავებში

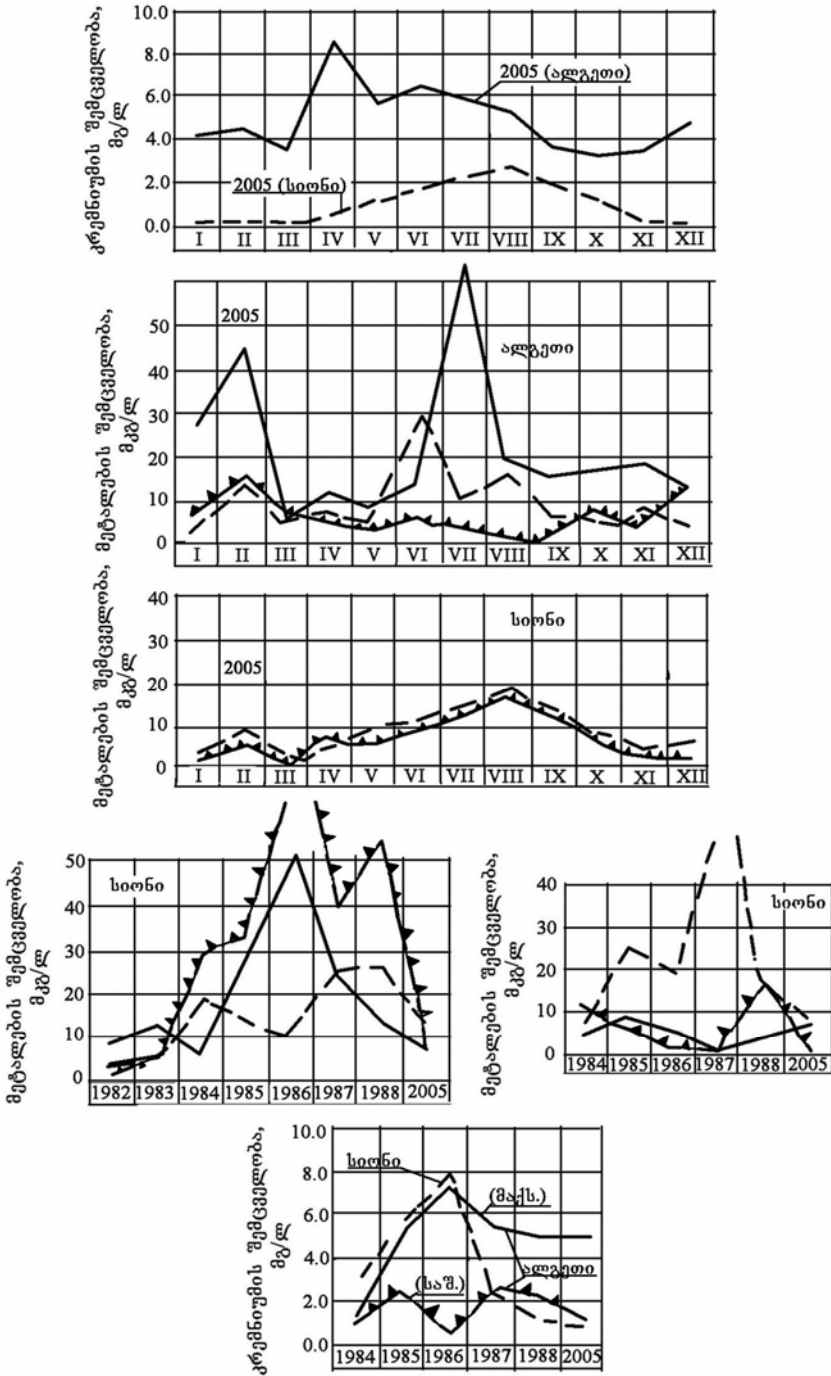
№	ჯგუფი	მაჩვენებლები	მნიშვნელობა	წყალსაცავები					წყლის ხარისხის კლასი				განაწილების ხასიათი
				სიონის	თბილისის	წალკის	ალგეთის	ბაღის	1	2	4	6	
				5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	ინჰალაციონური მითიხი ინჰალაციონური მითიხი – იმპროვიზირებული	წყალბადის მაჩვენებელი pH	საშ.	6,75	7,82	7,51		8,32	6,5		8,5	6,0+9,0	წყალსაცავის სიღრმისა და სივრცის მიხედვით ცვლილებები უმნიშვნელოა. ცვლილება სეზონების მიხედვით უმნიშვნელოა. მაქს. – ზამთარი, შემოდგომა
	მაქს.	8,38	9,38	8,95		8,64							
2	ინჰალაციონური მითიხი – იმპროვიზირებული	გაზის შემცვენი ჟანგბადი, O ₂ მგ/ლ	საშ.	8,42	9,31	8,50	6,40	10,15	8	6	5	2	მცირდება ზედაპირიდან ფსკერისაკენ და შესართავიდან კაშხლისაკენ. მაქს. – ზამთარში, მინ. – ზაფხულში
	მაქს.	13,50	11,95	11,60	13,00	13,80							

ცხრილი 34.8 (გაგრძელება)

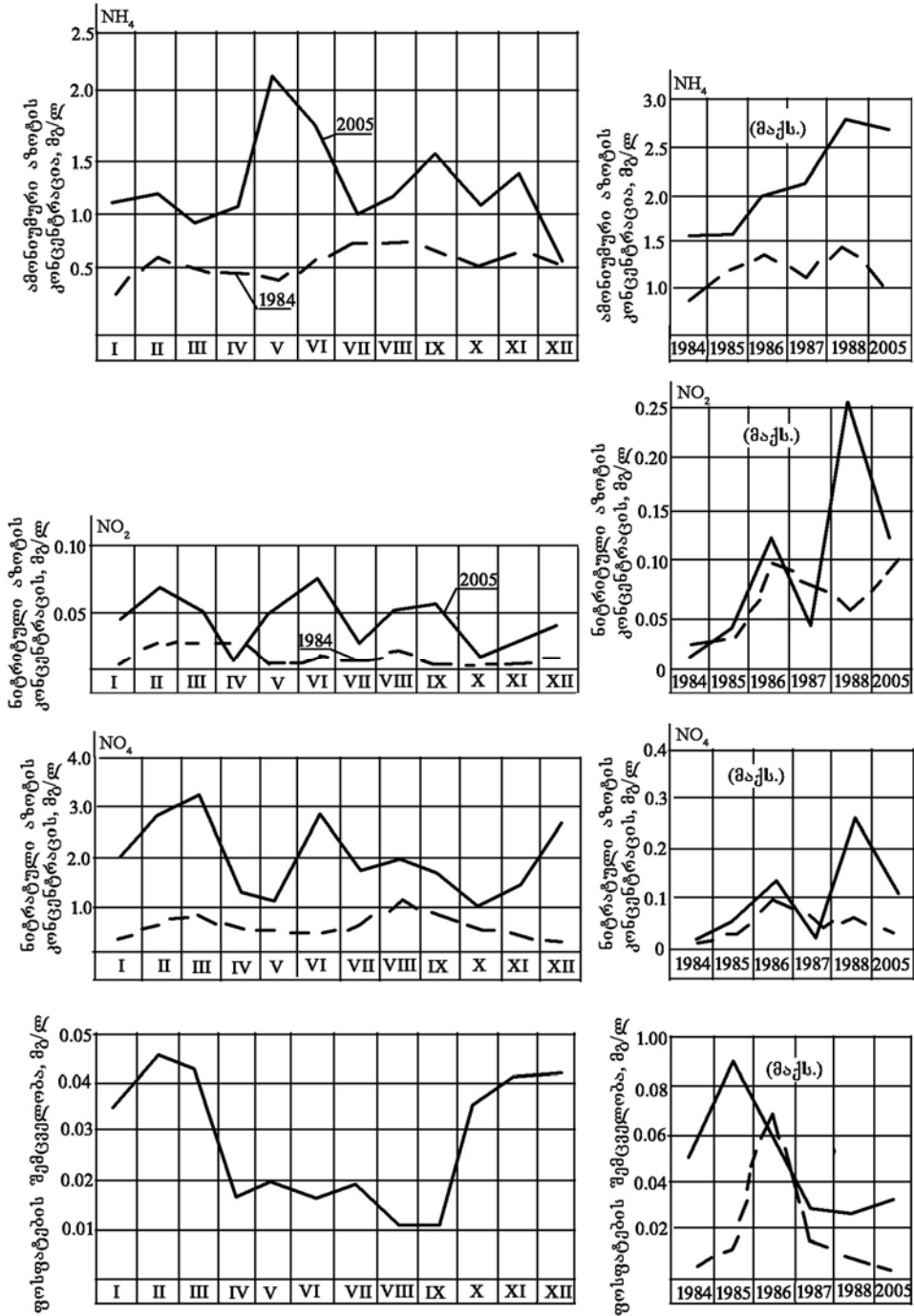
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9	საერთო მაჩვენებლები	პერმანგანატული დაჟანგვა (XПК, O ₂ მგ/ლ)	საშ.	1,86	1,72			1,36	5	-	-	10	იზრდება შესართავიდან კაშხლისაკენ და ზედაპირი- დან ფსკერისაკენ. მაქს. – ზაფხულში, მინ. – შემოდგომა
			მაქს.	3,98	7,21			2,38					
10	ჯგუფი მაჩვენებლები	ბიქრომატული დაჟანგვა (XПК, O ₂ მგ/ლ)	საშ.	11,32	11,60	8,20	8,23	6,81	5			25	-
			მაქს.	25,60	37,80	15,80	40,3	15,25					
11	იქმნება აირის	ნახშირბადის ორ- ჟანგის შემცველო- ბა, CO ₂ მგ/ლ	საშ.	2,41	3,42	3,11	9,60	2,00					იზრდება ფსკერისაკენ და კაშხლისაკენ. მაქს. – ზამ- თარში, მინ. – ზაფხულში
			მაქს.	11,20	12,61	6,80	17,62	6,11					
12	აირის	ჰიდროკარბონატუ- ლი იონების შემც- ველობა, HCO ₃ მგ.ეკვ/ლ	საშ.	2,48	2,68	1,62		1,52					იზრდება ფსკერისაკენ და სათავიდან კაშხლისაკენ. მაქს. – გაზაფხული, მინ. – ზაფხული
			მაქს.	3,57	3,12	2,15		2,31					



ნახ. 3.4.3. სხვადასხვა ტიპის დამაბინძურებლების განაწილება სიონისა (——) და ალგეთის (- - - -) წყალსაცავებში



ნახ. 3.4.4. არაორგანული ნივთიერებების განაწილება სიონისა და ალგეთის წყალსაცავებში (— ნიკელი, - - - ალუმინი, მანგანუმი ▲▲▲)



ნახ. 3.4.5. ბიოგენური ნივთიერებების განაწილება სიონისა (-----) და ალგეთის (————) წყალსაცავებში

ქვემოთ მოყვანილია 2008 წელს სიონისა და ალგეთის წყალსაცავებზე ორგანიზაცია „გამა“-ს მიერ ჩატარებული კვლევების მონაცემები.

ა) სიონის წყალსაცავის წყლის (ზედაპირული და სიღრმითი) კვლევების (2010 წ.) შედეგები მოყვანილია ცხრილებში 3.4.9, 3.4.10, 3.4.11.

ცხრილი 3.4.9

სიონის წყალსაცავის ზედაპირული წყლების ქიმიური კვლევების შედეგები (2010)

№	მაჩვენებელი	სინჯის აღების ადგილმდებარეობა		
		კაშხალთან	მდ. იორის შესართავთან	კაშხალთან, 14 მ სიღრმეზე
1	2	3	4	5
1	<i>pH</i>	7,950	7,800	8,000
2	მშრალი ნაშთი (მგ/ლ)	184,035	183,135	229,144
3	სიხისტე (მგ.ეკვ/ლ)	3,244	2,994	4,336
4	მინერალიზაცია (მგ/ლ)	271,035	273,135	325,144
5	NH_4 (მგ/ლ)	<i>ND</i>	<i>ND</i>	1,5
6	Ca^{2+} (მგ/ლ)	55,0	50,0	65,0
7	Mg^{2+} (მგ/ლ)	6,0	6,0	13,2
8	Na^+ (მგ/ლ)	4,3	4,5	11,2
9	K^+ (მგ/ლ)	1,2	1,2	1,2
10	Cr^- (მგ/ლ)	10,635	10,635	11,344
11	HCO_3^- (მგ/ლ)	176,9	183,0	195,0
12	CO_3^{2-} (მგ/ლ)	<i>ND</i>	<i>ND</i>	<i>ND</i>
13	SO_4^{2-} (მგ/ლ)	15,0	15,0	25,0
14	NO_2^- (მგ/ლ)	<i>ND</i>	<i>ND</i>	<i>ND</i>
15	NO_3^- (მგ/ლ)	2,0	2,8	1,5
16	$t^{\circ}C$	6,9	6,2	5,6

ზედაპირული წყლების ნავთობის ჯამური ნახშირწყალბადის კვლევების შედეგები ყველა წერტილში ერთნაირია და მისი მნიშვნელობა $TPH < 0,04$ მგ/კგ.

სიონის წყალსაცავის წყლის
ბაქტერიოლოგიური კვლევების შედეგები

სინჯის აღების ადგილმდებარეობა	მაჩვენებლების ფაქტობრივი მნიშვნელობები		
	მეზოფილური აერობების და ფაკულტატიური ანაერობების რაოდენობა, 1 მლ/ში	კოლი-ინდექსი, 1 ლ-ში	ლაქტოზა დადებითი, ნაწლავის ჩხირი, 1 მლ/ში
1	2	3	4
კაშხალთან	198 (37°C) 210 (22°C)	21000	21000
მდ. იორის შესართავთან	28 (37°C) 34 (22°C)	15000	15000
კაშხალთან, 14 მ სიღრმეზე	36 (37°C) 40 (22°C)	5000	5000

ცხრილი 34.11

სიონის წყალსაცავის წყალში გახსნილი აირების რაოდენობა
(მლ/ლ)

სინჯის აღების ადგილმდებარეობა	N_2	O_2	CH_4	CO	CO_2
1	2	3	4	5	6
კაშხალთან	46.16	12.38	0.55	0	0
მდ. იორის შესართავთან	47.73	12.80	0.57	0	0
კაშხალთან, 14 მ სიღრმეზე	45.50	12.21	0.54	0	0

- ხმაურის ფონური დონის მნიშვნელობა დღის საათებში შეადგენს 73 დეციბელს, რაც აჭარბებს დადგენილ ნორმებს (45 დეციბ), ხოლო ღამით გაცილებით ნაკლებია;

- რადიაციული ფონის გამა-ფონი მაჩვენებელი შეადგენს 4-12 მკრ/სთ, რაც დამახასიათებელია წყალსაცავის განთავსების რეგიონისათვის;

- წყალსაცავში მობინადრე თევზების კვებაში მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება ოლიგოქეტებს, ქირონომიდელებს და კოლოს, მატლებს. ზოობენტოსის საშუალო სიმჭიდროვე შეადგენს 500 ც/მ², საერთო ბიომასა - 4,5 გ/მ²;

- წლის განმავლობაში წყლის დონის მკვეთრი ცვალებადობა

იწვევს ზემოხსენებული ორგანიზმების კლება-მატებას, რაც მკვეთრი ხასიათის მიხედვით სიონის წყალსაცავს ანიჭებს ოლიგოტროფულ-მეზოტროფული წყალსაცავის კატეგორიას;

წყალსაცავში მობინადრე თევზების ზოგიერთი სახეობა ქვირითს ყრის სწორედ წყალში ჩაძირულ მცენარეებზე, რომლებიც გავრცელებულია თხელწყლიან ადგილებში, 1 მეტრ სიღრმეზე;

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, ნებისმიერი პროექტის განხორციელების დროს აუცილებელია მოხდეს წყალსაცავში წყლის დონის თანდათანობითი შემცირება და საკვები ბაზისა და განადგურებული სატროფე სუბსტრატის შემცირებით იქთიოფაუნისადმი მიყენებული ზიანის საკომპენსაციო ღირებულების განსაზღვრა.

წყალსაცავის კაშხლისა და მისი მიმდებარე ტერიტორიები, სადაც ხარობს ერთეული ხეები და ბუჩქები, არ შეიძლება ჩაითვალოს განაპირა ტყის ელემენტებად. აღნიშნულ ტერიტორიებზე ფლორის დაცული სახეობები არ ყოფილა გამოვლენილი. კაშხლის ტექნიკური ექსპლუატაციის რეგლამენტის მიხედვით, კაშხლის ტანზე მცენარეული საფარის არსებობა დაუშვებელია.

კაშხლის ტანი დაფარულია მეჩხერი ხეებითა და ბუჩქებით. კაშხლის ტანზე მცენარეულობა ღარიბია. მდინარის მარჯვენა მხარეს ტყეს შენარჩუნებული აქვს ბუნებრივი სახე და კარგადაა განვითარებული. მდინარის მეორე ნაპირზე გვხვდება ხელოვნურად გაშენებული ფიჭვნარი და მოსახლეობის მიერ გაშენებული კულტურული მცენარეები. მცენარეულობა ტიპური აღმოსავლეთ საქართველოს ამ კუთხისათვის.

ბ) ალგეთის წყალსაცავის ზედაპირული წყლების კვლევების (2010 წ.) მონაცემები მოყვანილია ცხრილებში 3.4.12, 3.4.13, 3.4.14.

ცხრილი 3.4.12

ალგეთის წყალსაცავის ზედაპირული წყლების სინჯების ქიმიური კვლევის შედეგები

№	მაჩვენებელი	სინჯის აღების ადგილმდებარეობა				
		კაშხლის მარცხენა კუთხესთან	კაშხლის მარჯვენა კუთხესთან	წყალსაცავის შუა ნაწილი	მდ. ალგეთის შესართავი	ქვედა ბიეფი
1	2	3	4	5	6	7
1	pH	8,00	8,10	8,10	8,00	8,10
2	მშრალი ნაშთი (მგ/ლ)	383,530	379,290	389,81	385,19	385,41
3	ელ.გამტარობა (სიმ/მ)	0,05291	0,05148	0,05109	0,04784	0,04823
4	სიხისტე (მგ.კგ/ლ)	6,128	5,781	6,031	5,981	5,833
5	ჟ.კ.მ. (მგ/ლ)	3,040	3,200	2,88	3,04	2,64

ცხრილი 3.4.12 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7
6	მინერალიზაცია (მგ/ლ)	495,130	492,690	500,810	498,590	497,010
7	NH_4^+ (მგ/ლ)	ND	ND	ND	ND	ND
8	Ca^{2+} (მგ/ლ)	87,00	86,00	91,00	90,00	89,00
9	Mg^{2+} (მგ/ლ)	21,60	18,00	18,00	18,00	16,80
10	Na^+ (მგ/ლ)	19,60	19,60	21,00	20,00	19,50
11	K^+ (მგ/ლ)	2,10	2,10	2,10	2,10	2,00
12	Cl (მგ/ლ)	7,09	7,09	7,09	7,09	7,09
13	HCO_3^- (მგ/ლ)	226,92	230,58	225,70	230,58	226,92
14	CO_3^{2-} (მგ/ლ)	ND	ND	4,80	ND	4,80
15	SO_4^{2-} (მგ/ლ)	126,00	124,00	126,00	126,00	126,00
16	NO_2^- (მგ/ლ)	0,22	0,22	0,22	0,22	ND
17	NO_3^- (მგ/ლ)	4,60	5,10	4,90	4,60	4,90
18	უბმ	8,7	9,7	8,3	11,7	0,6
19	$t^{\circ}C$	5,0	5,4	6,0	6,5	6,9

ცხრილი 3.4.13

ალგეთის წყალსაცავის ზედაპირული წყლების სინჯებში ნათობის ჯამური ნახშირწყალბადების კვლევის შედეგები

სინჯის ნომერი	ლაბორატორიული ნომერი	TPH მგ/კგ
1	859W	< 0,04
2	860W	< 0,04
3	861W	< 0,04
4	862W	< 0,04
5	863W	0,16

ცხრილი 3.4.14

ალგეთის წყალსაცავის ზედაპირული წყლების სინჯებში გახსნილი აირების კვლევის შედეგები

სინჯის ნომერი	ლაბორატორიული ნომერი	N_2	O_2	CH_4	CO	CO_2
		მგ/ლ				
1	859W	47,80	12,82	0,57	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
2	860W	42,28	11,34	0,50	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
3	861W	49,92	11,51	0,51	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
4	862W	44,71	12,00	0,53	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
5	863W	45,33	12,16	0,54	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა

კვლევების შედეგებით ირკვევა, რომ სიონისა და ალგეთის წყალსაცავების წყლისა და ჰაერის ხარისხი შეესაბამება სანიტარულ ნორმებს და წყლისა და ჰაერის მნიშვნელოვან დაბინძურებას ადგილი არ აქვს.

კვლევების შედეგებმა გვიჩვენა, რომ სიონისა და ალგეთის წყალსაცავების წყლის თვითგაწმენდის პროცესების საფუძველზე წყლის ხარისხი უმჯობესდება წყლის წყალსაცავის გასწვრივ მოძრაობის-თანავე.

სიონისა და ალგეთის წყალსაცავების გარემოს დანარჩენი ელემენტების მდგომარეობის ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ჰაერის ხარისხი კაშხლის მიმდებარე ტერიტორიაზე დამაკმაყოფილებელია და არ აჭარბებს კანონმდებლობით დადგენილ კონცენტრაციას.

3.5. მთის წყალსაცავებით გამოწვეული გეოლოგიური და სეისმური პროცესები

წყალსაცავებით გამოწვეული სეისმური მოვლენები ცნობილია მსოფლიოს ჰიდრომშენებლობაში (ცხრ. 3.5.1). საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებულია დიდი კავკასიონის ანტიკლინარული რიონი-მტკვრის დეპრესიის მთათაშორისი ჩაღრმავებისა და მცირე კავკასიონის ანტიკლინარული რაიონები (ნახ. 3.5.1).

სეისმური პირობების მიხედვით, საქართველოს ტერიტორია მდებარეობს 6-9 ბალიან ზონაში (ნახ. 3.5.2).

სეისმოლოგიური მონაცემებით საქართველოს წყალსაცავების სეისმურობა დამოკიდებულია მიმდინარე ტექტონიკურ აქტიურობაზე, რომელიც, თავის მხრივ, დამოკიდებულია საქართველოს ბელტის ამგები ცალკეული ბლოკების აქტიურობის ინტენსივობაზე და, შესაბამისად, ტერიტორიის ჰიფსომეტრულ ზონალობაზე. ამის მიხედვით, 9-ბალიან ზონაში განლაგებულია ჯვრის, ალგეთის, ჟინვალის, ნადარბაზევის, ნარეკავის, სიონის, შაორის, ზონკარის, დმანისის, პანტიანის, ხრამის, მთისძირისა და ზრესის წყალსაცავები.

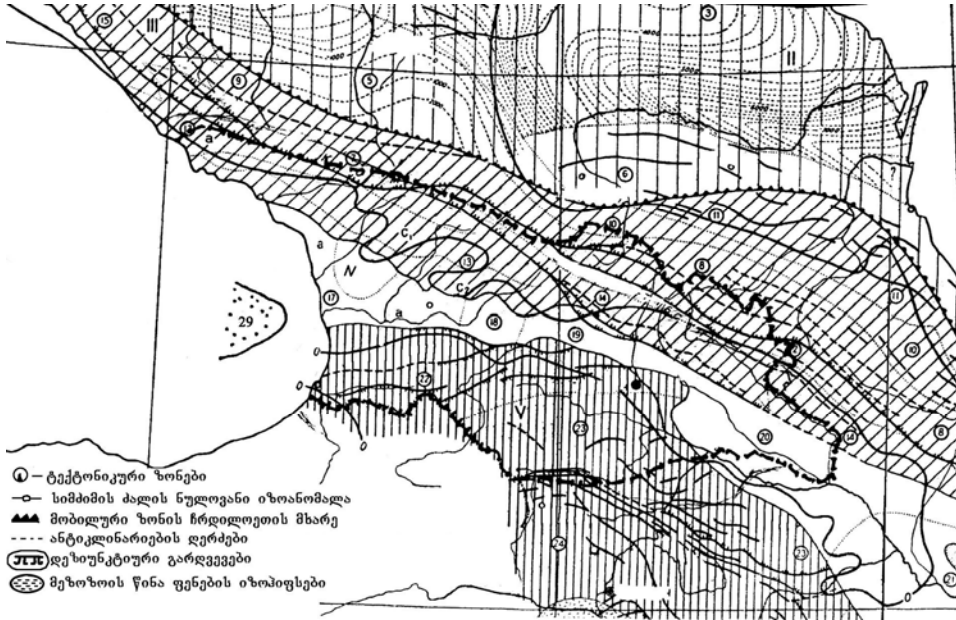
მთის წყალსაცავების შექმნა შესაძინევად არღვევს პირვანდელ ბუნებრივ სურათს, იწვევს გეოდინამიკური პროცესების სწრაფ განვითარებას წყალსაცავში და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე. ეს მდგომარეობა უფრო რთულდება საშიში გეოლოგიური პროცესებით, რომლებიც განპირობებულია წყალსაცავში წყლის დონის პერიოდული ცვალებადობით.

ცხრილი 3.5.1

წყალსაცავების შექმნის შედეგად მიწისპერების წარმოქმნა

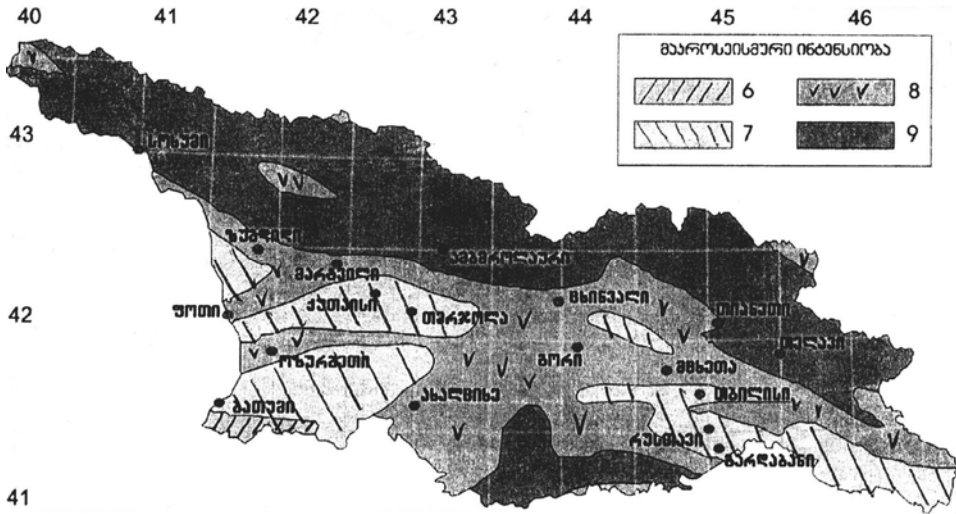
კაშხალი (წყალსაცავი)	მდინარე	ქვეყანა	წყლით აგების წყელი (ნ.მ.დ.-მდე)	წყლის მოცულობა, კმ ³	წყლის მაქსიმალური სიღრმე, მ	მიწისპერის თარიღი	მაგნიტუდა
კონინა (შივა-ჯისალარი)	კონინა	ინდოეთი	1961	2,8	100	10.12.1967	7,0
კრემასტა	აქელოხი	საბერძნეთი	1965	4,8	120	24.01.1966	6,3
კასირაკიონი	კრიკელიო-ტიკოს	საბერძნეთი	1969	1,0	100	1969	6,3
კარიბა	ზამბეზი	ზამბია-ზიმბაბვე	1958-1963	175,0	122	23.09.1963	6,25
სინფინიანი	სინფინიანი	ჩინეთი	1961	13,9	105	1961	6,1
ოროვილი	ფეტერი	აშშ	1968	4,4	204	01.08.1975	5,7
უარაგამბა	უარაგამბა	ავსტრალია	1960	2,0	104	09.03.1973	5,4
აკოსომბო (ვოლტა)	ვოლტა	განა	1964-1967	165,0	109	11.1964	5,3
პორტო კოლუმბია	რიუ-გრანდე	ბრაზილია	1973	1,5	50	24.02.1974	5,1
ვოლტა გრანდე	რიუ-გრანდე	ბრაზილია	1973	2,3	31	24.02.1974	5,1
ბენმორი	უაიტაკი	ახალი ზელანდია	1963-1966	2,0	96	07.07.1968	5,0
ეუკუმბენე	ეუკუმბენე	ავსტრალია	1958	4,8	106	18.05.1959	5,0
ჰუვერი (მიდი)	კოლორადო	აშშ	1935-1936	36,7	191	10.03.1940	5,0
მონტეინარი	დრაკი	საფრანგეთი	1962	0,3	125	25.04.1963	4,9
ბაინა-ბაშტა	დრინა	იუგოსლავია	1965-1966	0,3	80	03.07.1967	4,8
კაშურუ	პარა	ბრაზილია	1953-1959	0,2	21	23.01.1972	4,7
კანელიესი	ნოგუერა	ესპანეთი	1960	0,7	132	09.01.1962	4,7
სეფიდრუდი	სეფიდრუდი	ირანი	1962	1,8	80	02.08.1968	4,7
პუკაკი	პუკაკი	ახალი ზელანდია	1976	10,0	108	1978	4,6
ნურეკი	ვახში	ტაჯიკეთი	1972-1984	11,0	285	27.11.1972	4,5
კაფუ-გოჯი	კაფუ	ზამბია	1973-1978	5,0	62	13.05.1978	4,2
მანიკუაგან-3	მანიკუაგანი	კანადა	1975	10,4	96	23.10.1975	4,1
ჯვრის	ენგური	საქართველო	1957	0,23	100	12.1979	4,4

დაკვირვებებით დადგენილია, რომ მთის წყალსაცავებზე წყლის დონის ცვალებადობის დროს წყალსაცავში შეიმჩნევა ქანის სიმტკიცის კლება, ქანის მდგომარეობის ხარისხი განისაზღვრება მისი შემაღეწლობით, სტრუქტურით, ნაპრალიანობით გამოფიტულობით. გეოლოგიური პროცესების განვითარება დამოკიდებულია, როგორც ენდოგენურ (შიდა), ისე ეგზოგენურ გარე პროცესებზე.

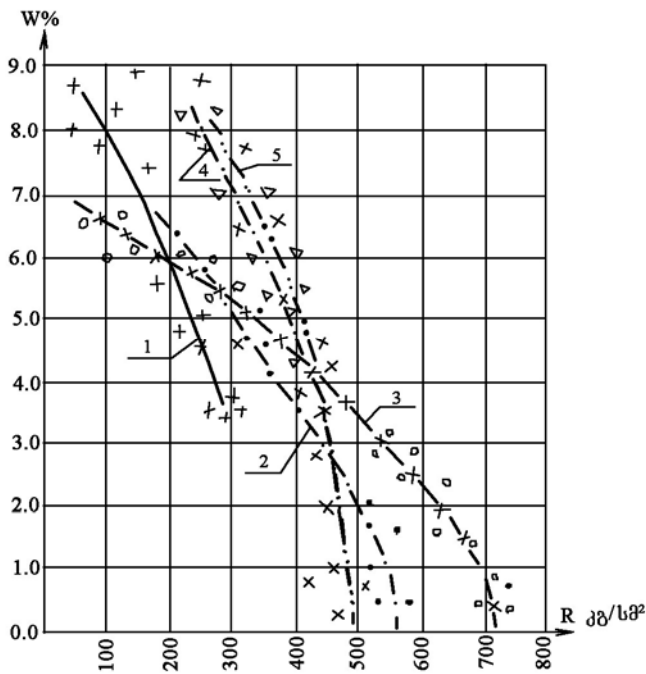


ნახ. 3.5.1. საქართველოს სტრუქტურულ-ტექტონიკური დარაიონების რუკა აღნიშვნები: II - წინა კავკასიონი; III - დიდი კავკასიონის (ანტიკლინარიუმის); ზონები: 10 - მთავარი ქედის ჩრდილოეთის ფერდის აღმოსავლეთის ზონა; 13 - მთავარი ქედის სამხრეთის ფერდის დასავლეთის ზონა; a - აფხაზეთის; ნ - სვანეთის) B - სოხუმი-დუშეთის (ჩრდილოეთის); c₁ - კახეთის ზონა; IV - რიონი-მტკვრის დეპრესიის ზონები: 17 - კოლხეთის ზონა (- კოლხეთის ველის და - ცენტრალური სინკლინარი); 18 - ძირულის ზონა; 19 - მოლასოვის ზონა; 20 - საგარეჯო-შირაქი-აჯინაურის ზონა; V - მცირე კავკასიონის ზონები: 22 - აჭარათრიალეთის ზონა; 23 - სომხითი-განჯიანი-ყარაბახის ზონა; VII - დამარხული ამაღლებები (29).

მაგალითად, ცემენტირებული ჯდომადი ქანის (კონგლომერატი, ქვიშაქვა, ალევროლიტი, არგილიტი) შერბილების კოეფიციენტის მნიშვნელობა უფრო ძლიერ კლებულობს, ვიდრე მეტი შემცველობის თიხა-ცემენტი მაღალი ფორიანობის დროს (ნახ. 3.5.3). დეფორმაციის განვითარება სანაპირო ფერდობებზე თბილისისა და ხრამის წყალსაცავებში, რომლებიც შედგება პოლიმიქტური და არკოზული ქვიშაქვებით და დოლერიტებით, მოყვანილია ნახ. 3.5.3÷3.5.10-ზე.



ნახ. 3.5.2. საქართველოს ტერიტორიის სეისმური ზონირება

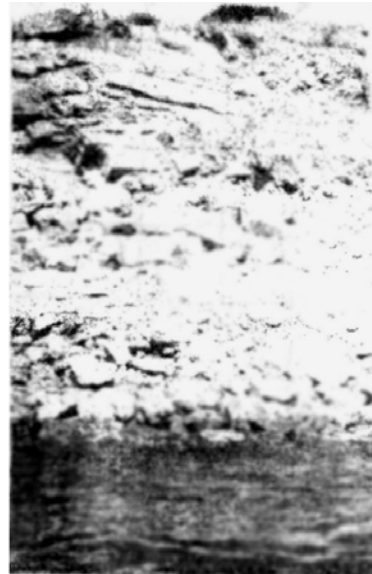


ნახ. 3.5.3. ქვიშაქვების სიმტკიცის მახასიათებლების ცვალებადობა ტენიანობასთან დამოკიდებულებით.

1 – გამოფიტული გრაუვაკული ქვიშაქვები; 2 – გამოუფიტავი გრაუვაკული ქვიშაქვები; 4 – გამოფიტული არკოზული ქვიშაქვები; 5 – გამოუფიტავი არკოზული ქვიშაქვები.



ნახ. 3.5.4. საშუალოშრეობრივი გრაუვაკული ქვიშაქვების დაშლა თბილისის წყალსაცავის სანაპირო ფერდობებზე



ნახ. 3.5.5. ნაპრალების განვითარება არკოზულ ქვიშაქვებში და ნაყარის წარმოშობა თბილისის წყალსაცავის სანაპირო ზოლში აბრაზიის პროცესში



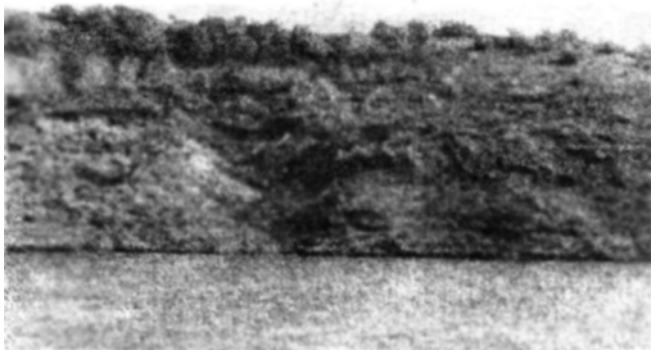
ნახ. 3.5.6. ნაპრალოვანი დოლორიტებით აგებული ნაპირების რღვევა სრამის წყალსაცავზე, სანაპირო ზოლის აბრაზიის პროცესში, რომელიც ვითარდება წყალსაცავის ზედაპირზე ტალღური ზემოქმედებით და წყლის დონის ცვალებადობით



ნახ. 3.5.7. ნაპრალების გახსნა ძლიერ გამოფიტულ დოლორიტებში, ხრამის წყალსაცავის სამხრეთ ფერდობზე აბრაზიის პროცესში



ნახ. 3.5.8. ძირითადი ქანების (ინტრუზიული ტეშენიტების) გაშიშვლება სიონის წყალსაცავის ჩრდილო-დასავლეთ სანაპიროზე



ნახ. 3.5.9. II ტერასის სანაპირო ფერდობის სუსტად შეცემენტებული ნალექების გარეცხვა მდ. იორზე (სიონის წყალსაცავი) წყლის დონის დაწვევისას

ა)



ბ)



ნახ. 3.5.10. სანაპირო ფერდობების აბრაზია თბილისისა (ა) და ხრამის (ბ) წყალსაცავებზე, წყლის დონის დაწვევისას მკვდარი ჰორიზონტის ნიშნულამდე

აუცილებელია გავითვალისწინოთ საინჟინრო-გეოლოგიური მდგომარეობის მდგენელები, მათში მიმდინარე ფიზიკური, ქიმიური და ბიოლოგიური პროცესები. ისინი უაღრესად დინამიურია და დროის შედარებით მოკლე პერიოდში შეიძლება არსებითად შეიცვალოს. ამ მდგომარეობიდან გამომდინარე, არასასურველი საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების დროულად გამოსავლენად საჭიროა გრუნტების ლაბორატორიული გამოკვლევები განხორციელდეს სინჯების აღებიდან შედარებით მოკლე ვადებში. ამასთან ერთად, უნდა გამოიყოს ცალკეული საინჟინრო-გეოლოგიური ელემენტები.

მეორე პრობლემა, რომელიც უნდა იქნეს გათვალისწინებული, წარმოადგენს ბუნებრივი პროცესების გენეზისი და მათი ინტენსივობის ცვლილება, რაც განისაზღვრება ტერიტორიის განლაგებით წყალსაცავის მიმართ. ამ დებულების შესაბამისად გამოიყოფა შემდეგი რაიონები:

- წყალსაცავის რაიონი (წყალსატევების ქვაბული და მიმდებარე ტერიტორია);
- ჩამონადენის რეგულირების რაიონი მდინარის ხეობაში, წყალსაცავის ქვემოთ. ის მოიცავს მდინარის დელტას და მიმდებარე

აუზის მიმდებარე ტერიტორიის ნაწილს (ზღვა, ტბა).

წყალსაცავის ქვედა ბიეფში გეოლოგიური პროცესების ხასიათსა და ინტენსივობას განსაზღვრავს რეგულირებადი ჩამონადენის მოცულობა და წყალსაცავის ექსპლუატაციის რეჟიმი.

ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლების განსაზღვრა საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ მინერალური შემადგენლობის ზეგავლენა ქანების წინააღმდეგობაზე გარეცხვისადმი.

მაგალითად, ძირითადი მინერალები (კლავიოკლაზი) გამოფიტვის და გათიხნარების შედეგად ამჟღავნებს მაცემენტირებელ ნივთიერებაში თიხის მარცვლების რაოდენობას, რაც ამცირებს გრუნტების სიმტკიცეს.

სიმტკიცის შემცირებას ხელს უწყობს აგრეთვე:

- კალციტის გადაადგილება წყალსაცავში წყლის დონის ცვლილებისას;
- მარცვლებს შორის კავშირების დარღვევა;
- თაბაშირის გახსნა ქანების ნაპრალებში და ა.შ.

პეტროგრაფული შლიფების შესწავლა საშუალებას იძლევა, განვსაზღვროთ ცალკეული შრეების შეცემენტების ხარისხი და მათი წინააღმდეგობის უნარიანობა დაშლის მიმართ.

ჰიდროსისტემების ექსპლუატაციის პროცესში უაღრესად მნიშვნელოვანია საინჟინრო-გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური პირობების მჭიდრო კავშირი.

საინჟინრო-გეოლოგიური გამოკვლევების ძირითად მოთხოვნილებას, განსახილველ პირობებში, წარმოადგენს:

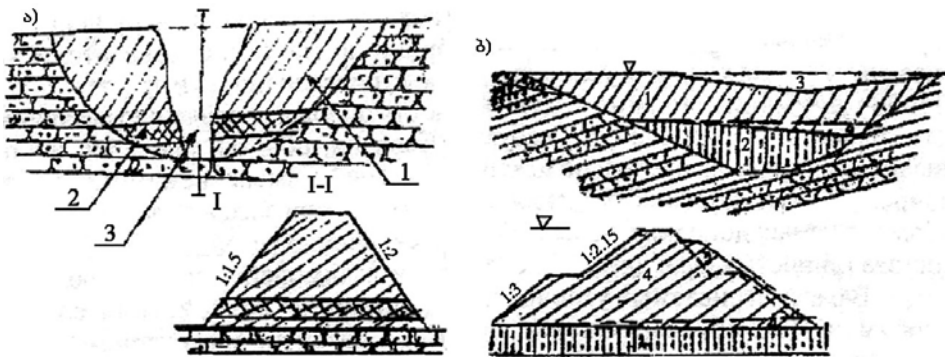
- აერაციისა და წყალგაჯერების ზონის განსაზღვრა;
- გეოლოგიურ-გენეტიკური კომპლექსების სიმძლავრისა და შემადგენლობის ცვლილებათა კანონზომიერების დადგენა, ქანების გეოლოგიურ-ლითოლოგიური ტიპიზაცია და წყალმდევი შრის განსაზღვრა;
- რელიეფის ტიპების დახასიათება და აერაციის ზონაში გრუნტის წყლების ბალანსის დადგენა;
- შესაძლო კატასტროფული სიტუაციების გამოვლენა საინჟინრო-გეოლოგიური პოზიციის თვალსაზრისით;
- მოსალოდნელი ექსტრემალური სიტუაციების პროგნოზირება, რომლებიც შეიძლება ჩამოყალიბდეს გარკვეული გეოლოგიური პროცესების აქტივიზაციის შედეგად.

მთელი რიგი მკვლევარების მონაცემებით, შესაძლებელია შემთხვევები, როდესაც ნაგებობის ის განლაგება, რომელიც ხელსაყრელია გარემოს დაცვის პირობებისათვის, გეოლოგიური თვალსაზრისით შეიძლება იყოს ნაკლებად საიმედო და სახიფათოც კი სოციალურ-გეოლოგიური ასპექტით.

მაგალითად, კატასტროფა ვაიონტის წყალსაცავზე გამოწვეული იყო არახელსაყრელი გეოლოგიური პირობებით (მეზოზოური კირქვებით აგებული ციცაბო ფერდობი სუსტი თიხა-ფიქლების განფენებით, რომელიც დანაწევრებული იყო ტექტონიკური და განტვირთვის ნაპრალებით) და ცვლილებებით გარემოში (წყლის დონის აწევა წყალსაცავში, გრუნტის წყლების დონის აწევა დაყვანილი სეისმურობის პირობებში).

საქართველოში (დაბა წყნეთი) კატასტროფა განიცადა მიწის კაშხალმა (სიმაღლით 13 მ) კოკისპირული წვიმების გამო წყალსაცავში წყლის დონის სწრაფი აწევის შედეგად. კატასტროფის ძირითად მიზეზს წარმოადგენდა კაშხლის ტანის გრუნტების თვისებების ცვლილებათა არასრულფასოვანი გეოლოგიური დასაბუთება, რომელიც ეყრდნობოდა ფილტრაციული ნაკადების ზემოქმედებით გამოწვეულ გარდაქმნებს (ნახ. 3.5.11ა).

კრანჯის-ხევის კაშხალმა (სიმაღლე – 14,5 მ, სიგრძე – 406 მ) განიცადა მნიშვნელოვანი დეფორმაცია წყალსაცავის შევსებისას. ავარიის ძირითად მიზეზი იყო საძირკვლის ჯდენადი გრუნტების დეფორმაცია, რაც ზოგან 0,6±0,8 მეტრს აღწევდა. დაფიქსირდა აგრეთვე თხემის დაჯდომა და ნაპრალების განვითარება კაშხლის სანაპირო ფერდობებთან შეუღლების ზონაში (ნახ. 3.5.11ბ).



ნახ. 3.5.11. საქართველოს წყალსაცავების კაშხლების კრიტიკულ სიტუაციებში დეფორმაციების მაგალითები.

- ა) მიწის კაშხალი დაბა წყნეთში დეფორმაციის შემდეგ: 1 – კაშხლის ტანი; 2 – მოლურჯო ფერის შრე; 3 – კაშხლის გამორეცხილი ნაწილი.
- ბ) კრანჯის-ხევის ჰიდროკვანძის მიწის კაშხალი დეფორმაციის შემდეგ: 1 – კაშხლის ტანი; 2 – საძირკვლის დაჯდომა; 3-4 – კაშხლის თხემისა და საძირკვლის დეფორმაცია.

მოყვანილი მაგალითები ადასტურებს, რომ წყალსაცავის მდგრადობის უზრუნველსაყოფად, საჭიროა გრუნტის მასივების დეტალური საინჟინრო-გეოლოგიური შესწავლა საველე და ლაბორატორიული კომპლექსური კვლევების საშუალებით. ამასთან, გასათვალისწინებელია გრუნტების თვისებების მდგრადობის ცვლილებები ექსპლუატაციის პირობებში.

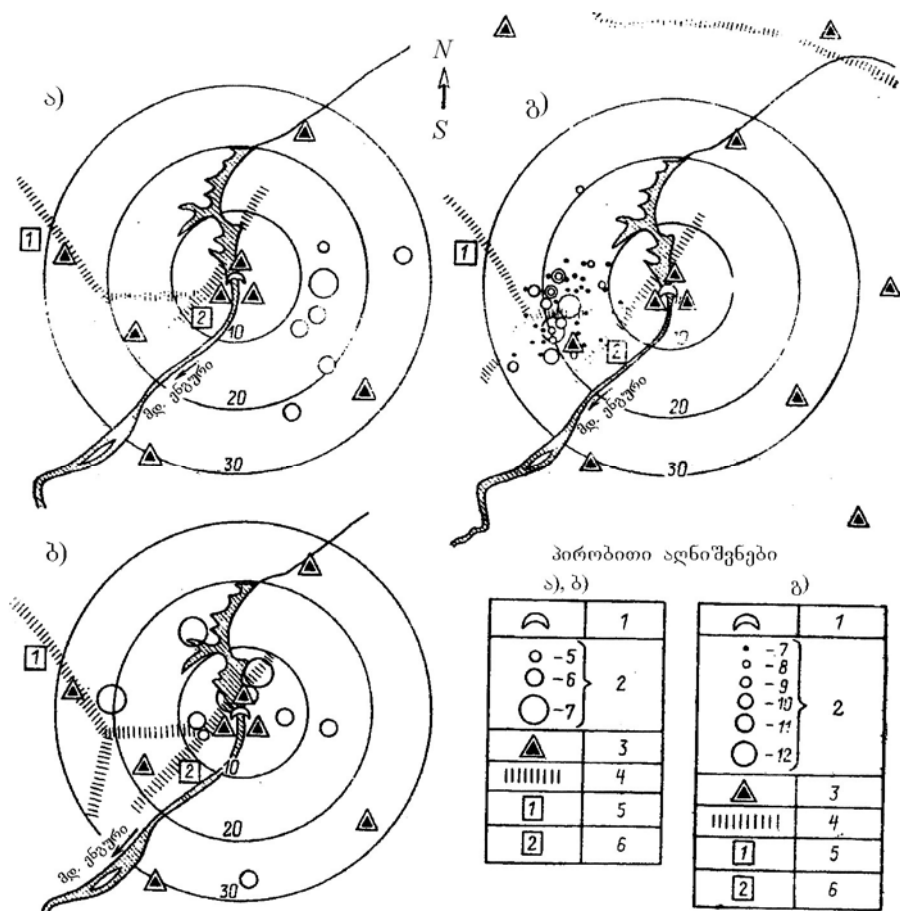
ჰიდროკვანძის ტერიტორიის გეოლოგიური აგებულების თავისებურებებთანაა დაკავშირებული ტექტონიკური მდგომარეობის ცვლილებები. წყალსაცავით გამოწვეული სეისმური პროცესების განვითარება დამახასიათებელია მაღალ დაწნევიანი და მნიშვნელოვანი მოცულობის წყალსაცავებისათვის, თუ დედამიწის ქერქი ხასიათდება ტექტონიკური რღვევებით.

ექსპლუატაციის რეჟიმის დარღვევის პირობებში განვითარებული დეფორმაციები, რომლებიც დაფიქსირებულია მთელ რიგ წყალსაცავებზე, მოიცავს:

- კაშხლის ფილტრაციის საწინააღმდეგო ელემენტებში (გული, ეკრანი, პონური) გამოშრობის ნაპრალების წარმოშობას;
- სადამკვირვებლო ქსელის პიეზომეტრული ჭაბურღილების დეფორმაციას;
- კაშხლის ტანსა და ჰიდროკვანძის ნაგებობებს შორის სიცარიელების წარმოშობას;
- კაშხლის ტანისა და წყალსაცავის ფერდობების შეუღლების დარღვევას.

ტერიტორიის სეისმური ცვლილება, რომელიც თან ახლავს წყალსაცავების შექმნას, სხვადასხვანაირად ფასდება: მიწისძვრის დამოკიდებულება წყალსაცავის მოცულობასთან შეფარდებით, სეისმური მდგომარეობის ცვლილება წყალსაცავის შევსებისა და ექსპლუატაციის პერიოდში.

სეისმური პირობების ცვლილებათა შესაძლებლობა გამოკვლეულ იქნა ჯვრის წყალსაცავზე. დაკვირვებათა ანალიზის თანახმად, წყლის დონის 130 მ-მდე აწევისას მიწისძვრათა საერთო რაოდენობა ჰიდროკვანძის რაიონში, ფონურ სეისმურობასთან შედარებით, ამაღლდა მცირებადიანობის პირობებში (4 ბალამდე). წყალსაცავებით გამოწვეული სეისმურობის პროცესი შესწავლილ იქნა სეისმოდაზვერვის დაკვირვებებით, წყალქვეშა გეოფიზიკური პროფილის აგებით წყალსაცავის ფსკერზე [ჩოგოვაძე გ.ი. და სხვ., 1987]. 1978 წლის აპრილში, როდესაც წყალსაცავი აივსო 345 მ ნიშნულამდე (სიღრმე – 105), სეისმური რეჟიმი გააქტიურდა (ნახ. 3.5.12).



ნახ. 3.5.12. სეისმური ბიძგების ეპიცენტრების რუკა ჯერის წყალსაცავის თაღოვანი კაშხლის 30 კმ-იან რადიუსში

ა) წყალსაცავის შევსების საწყისი პერიოდი, აპრილი, 1978 წ.; ბ) იგივე – მაისი, 1978 წ.; გ) ერთი წლის შემდეგ წყალსაცავის პირველი რივის შევსებიდან, 21-31 დეკემბერი, 1979წ.; 1 – თაღოვანი კაშხალი; 2 – სხვადასხვა კლასის მიწისძვრების ეპიცენტრები; 3 – სეისმური სადგურები; 4 – სეისმოგენერირებადი სტრუქტურები; 5 – ტყვარჩელის ფლექსურა; 6 – ინგირის რღვევა; 10, 20, 30 – კაშხლიდან დაცილების მანძილები (კმ)

სეისმური მდგომარეობის ცვლილება შემდეგნაირად მიმდინარეობდა: 1978 წლის აპრილში კაშხლიდან 30 კმ-ის რადიუსში დაფიქსირებულ იქნა რვა მიწისძვრა $K=5 \div 7$,* მათ შორის ექვსი – 20 კმ-ის რადიუსში. 345 მ ნიშნულზე წყალსაცავის შევსებიდან ერთი თვის

* k – მიწისძვრის ენერგეტიკული კლასი, რომელიც დამოკიდებულია მაგნიტუდაზე (M), $k=1.87M+3.9$

წყალსაცავში მუდმივი დონის შენარჩუნების პირობებში, დარეგისტრირდა 10 მიწისძვრა $K = 6 \div 7$, რომელთაგან შვიდი იყო კაშხლიდან 10 კმ-ის რადიუსში. მათი უმეტესი ნაწილი დაკავშირებულია ინგირიის რღვევასა და ტყვარჩელის ფლექსურის გადაკვეთასთან, სადაც 1978 წლის მაისში, რვა დღის განმავლობაში მოხდა რვა მიწისძვრა.

წყალსაცავის 100 მ სიღრმის შევსებისას საერთო სეისმური მდგომარეობის შეფასებისას აღსანიშნავია, რომ მიწისძვრები 1979 წლის დეკემბრიდან 1980 წლის იანვრამდე პერიოდში, ცალკეული კერების მაგნიტუდათი 4,4-მდე, ყველაზე მნიშვნელოვანია დაკვირვებათა მთელი პერიოდის განმავლობაში, თუმცა არის გამონაკლისი ამ ფონთან შედარებით – მეგრულ-სვანური (1930 წ., $M = 4,6$), გეგეჭკორის მიწისძვრა (1957-58 წწ. $M = 5,3$) და ა.შ.

ენგურის მიწისძვრების მაკროსეისმური ენერგია მთლიანად თავსდება სეისმური აქტიურობის იმ შეფასებაში, რომელიც მიღებული იყო ენგურის წყალსაცავის დაპროექტებისას (ფონური სეისმურობა შეფასებული იყო 8 ბალად). წყალსაცავის შევსებამ მხოლოდ მოახლოვა მიწისძვრების ინიცირება, რაც მომზადებული იყო რაიონის ტექტონიკური განვითარების წინა პერიოდში. საქართველოს სხვა მსხვილ და ღრმა წყალსაცავებზე წყალსაცავებით გამოწვეული მიწისძვრის პროცესები არაა შესწავლილი.

დღეისათვის ძნელია ცალსახად აიხსნას სეისმური აქტივიზაციის ბუნება დიდი სიღრმისა და მოცულობის წყალსაცავების შექმნასთან კავშირში. მიუხედავად ამისა, ნათელია, რომ ის დაკავშირებულია ქანების დაძაბულობის ცვლილებასთან, დაძაბულობის კონცენტრაციასთან რღვევის ზონაში, რომელიც წარმოიშობა წყალსაცავის შექმნით განპირობებული დატვირთვის ზემოქმედებით, მიწისქვეშა წყლების მზარდი ჰიდროსტატიკური დაწნევით, ქანების თბური რეჟიმის ცვლილებით და ა.შ.

აღნიშნული მოვლენის შესწავლა, მისი პროგნოზირება და ისეთი ღონისძიებების შემუშავება, რომლებიც, შეიძლება მთლად ვერ გამორიცხავს, მაგრამ მაქსიმალურად შეამცირებს დანაკარგებს, – წარმოადგენს ახალ, უაღრესად მნიშვნელოვან და საინტერესო ამოცანას მთის წყალსაცავების შემსწავლელ მეცნიერებაში.

3.6. შიდაწყალსატევური პროცესების ფორმირება მთის წყალსაცავებში

მთიანი რეგიონების ბუნებრივი პირობების სპეციფიკა განაპირობებს შიდაწყალსატევური პროცესების თავისებურებებს წყალსაცავებში, რომელთა შორის ძირითადია: ჩამონადენის რეგულირების რეჟიმი,

წყლის ბალანსი, წყლის დონის რეჟიმი, წყალგაცემა, დინებები, დელტა.
ჩამონადენის რეგულირების რეჟიმი განისაზღვრება წყალსაცავის სრულ მოცულობასა და დამუშავების პრიზმას შორის თანაფარდობით (ცხრ. 3.6.1).

ცხრილი 3.6.1

საქართველოს წყალსაცავებით დარეგულირებული ჩამონადენის მახასიათებლები ($V > 1$ მლნ.მ³)

№	წყალსაცავის დასახელება	წყალსაცავის მოცულობა, მლნ.მ ³		ჩამონადენის მოცულობა, 50%, მლნ.მ ³	დარეგულირების მახასიათებელი		სასარგებლო წყალგაცემა წყალსაცავიდან $W_{დახ.}$		ჩამონადენის გამოყენების კოეფიციენტი $\frac{W_{დახ.}}{W_{ჩამ.}}$
		სრული, $V_{სრ.}$	სასარგებლო, $V_{სახ.}$		$\frac{V_{სრ.}}{W_{ჩამ.}}$	$\frac{V_{სახ.}}{W_{ჩამ.}}$	წლიური მოცულობა, მლნ.მ ³	უზრუნველყოფა, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
მდ. ენგურის აუზი									
1	ჯერის	1090	662,0	464,0	0,235	0,143	4523,9	50	0,975
2	გალის (მდ. ერისწყალი)	145,0	26,0	485,0	0,0298	0,0556	4833,4	50	0,996
მდ. რიონის აუზი									
3	შაორის	90,0	87,0	128,0	0,703	0,679	121,0	50	0,945
4	ტყიბულის	84,0	62,0	216,5	0,388	0,286	209,0	50	0,965
5	გუმათის	39,0	13,0	5100,0	0,0077	0,00255	4228,0	50	0,829
6	ლაჯანურის	24,6	17,6	1510,0	0,0163	0,0116	1509,0	50	0,999
7	ვარციხის	14,6	2,4	8600,0	0,0017	0,00028	8600,0	50	0,784
8	კუხის	1,9	1,85	2,89	0,657	0,64	2,0	50	0,692
სულ მდ. რიონის აუზში		266,8	186,85	15556,4	0,017	0,012	12816,0	50	0,823
მდ. მტკვრის აუზი									
9	ჟინვალის (მდ. არაგვი)	520,0	370,0	1373,7	0,378	0,269	1373,7	50	0,983
10	თბილისის (მდ. იორი)	308,0	155,0	–	–	–	172,5	50	–

ცხრილი 3.6.1 (გაგრძელება)

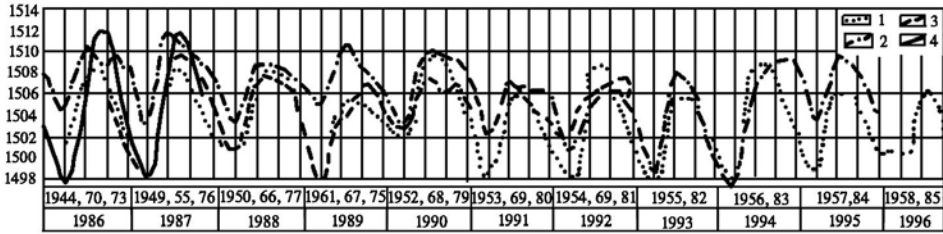
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	სიონის (მდ. იორი)	325,0	300,0	342,0	0,95	0,877	333,6	50	0,974
12	დაღის მთის (მდ. იორი)	140,0	120,0	–	–	–	110,0	50	–
13	თელეთ-წყლის (მდ. იორი)	1,6	1,2	4,8	0,333	0,25	4,75	50	–
მდ. იორის აუზის		771,6	576,2	–	–	–	1994,55	50	–
14	ალგეთის (მდ. ალგეთი)	65,0	60,0	130,0	0,50	0,461	59,7	50	0,459
15	მარაბდის (მდ. ალგეთი)	1,20	0,2	2,0	0,60	0,10	1,60	50	0,800
მდ. ალგეთის აუზი		66,20	60,2	130,0	0,509	0,463	61,3	50	0,472
16	ზონკარის (მდ. პატარა ღიახვი)	40,0	39,0	302,4	0,132	0,129	105,0	50	0,347
17	ხრამის (მდ. ხრამი)	312,0	292,0	308,0	1,01	0,948	246,0	50	0,799
18	ზაჰესი (მდ. მტკვარი)	12,0	3,0	5610,0	0,0021	0,00053	4220,1	50	0,752
19	დმანისის (მდ. დმანისი)	11,0	11,0	–	–	–	14,8	50	–
20	ლაფიანის (მდ. ღურუჯი)	3,5	3,5	–	–	–	4,75	50	–

ჩამონადენის გამოყენების კოეფიციენტის მნიშვნელობა მსხვილ ენერგეტიკულ წყალსაცავებზე 0,9-ზე მეტია (ცხრ. 1.4.9; 1.6.1). ირიგაციულ წყალსაცავებზე მისი მნიშვნელობა ბევრად ნაკლებია, რაც განპირობებულია მათი მცირე მოცულობით, ჩამონადენთან შედარებით.

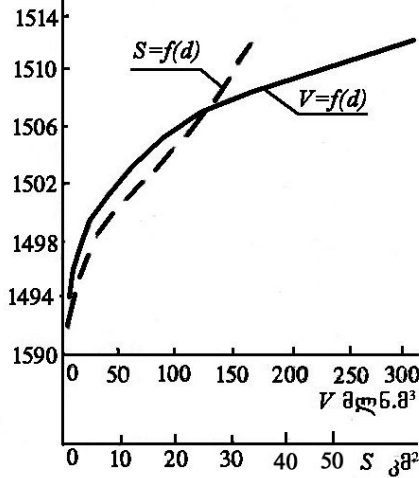
მთის წყალსაცავების წყლის ბალანსი გამოირჩევა თავისებურებებით დინამიკაში და ჩამოდინებული და გადინებული წყლის მოცულობების თანაფარდობით.

წყალსაცავის წყლის დონის რეჟიმი საკმაოდ განსხვავებულია (ცხრ. 1.4.7; 1.4.17). ყველა წყალსაცავს ახასიათებს საერთო თვისება – წყალსატევის შევსება და დამუშავება (ნახ. 3.6.1÷3.6.7).

ა)

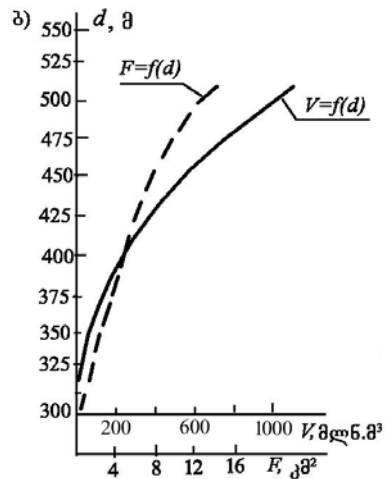
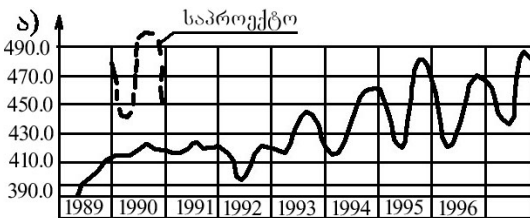


ბ) $d, \text{ მ}$



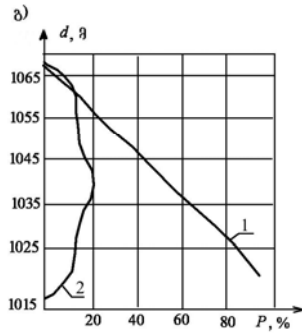
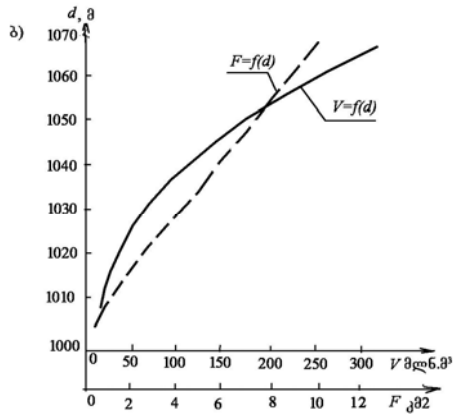
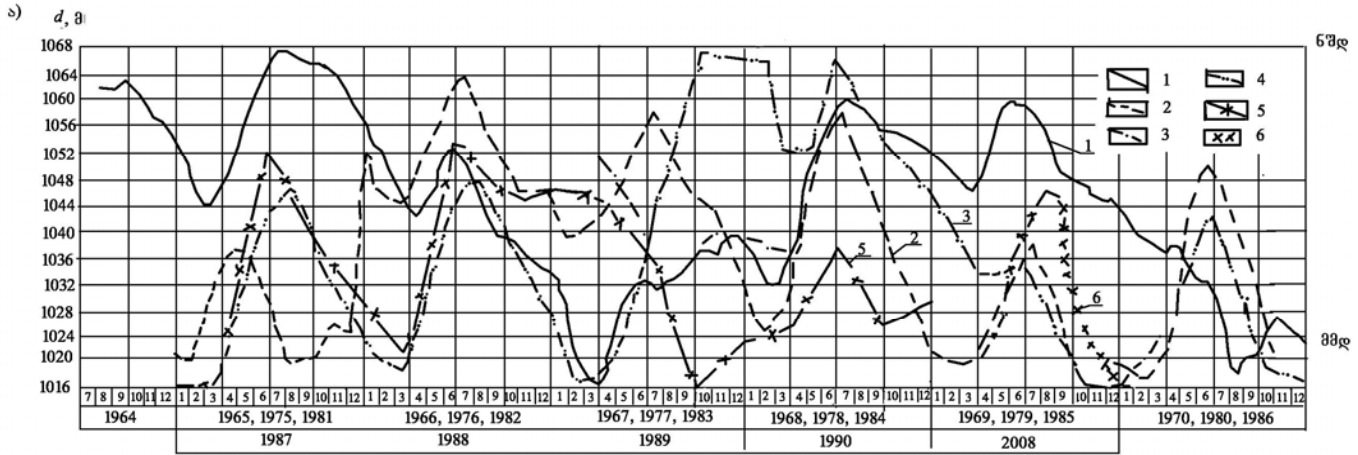
ნახ. 3.6.1. ხრამის (წალკის) წყალსაცავის დონური რეჟიმის დამახასიათებელი ელემენტები
 ა) დონის ცვალებადობის ქრონოლოგიური გრაფიკები (1 – 1948-1958 წწ.; 2 – 1964-1970 წწ.; 3 – 1975-1984 წწ.; 4 – საპროექტო გრაფიკი)

ბ) მოცულობისა და სარკის ფართობის მრუდები



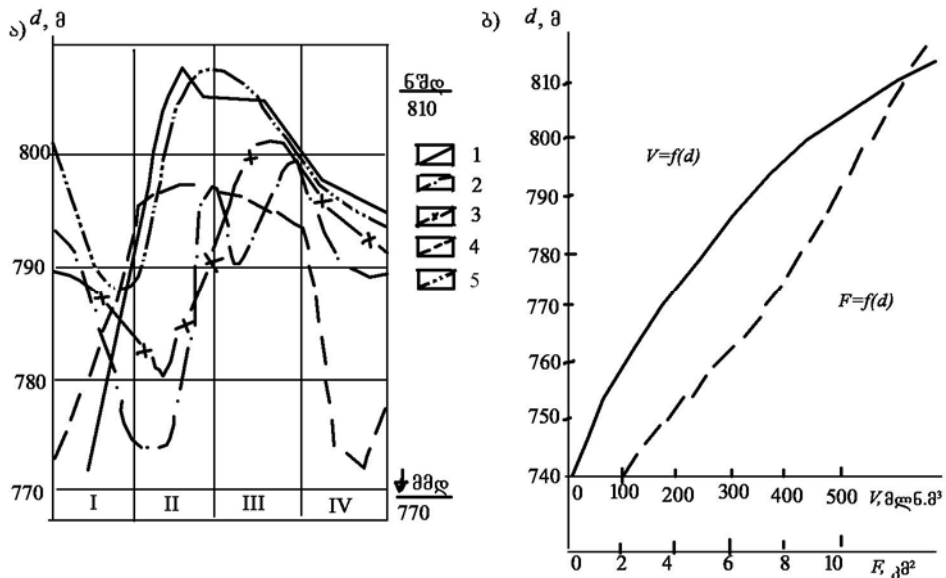
ნახ. 3.6.2. ჯვრის წყალსაცავის დონური რეჟიმის დამახასიათებელი ელემენტები

ა) დონის ცვალებადობის გრაფიკი; ბ) მოცულობისა და სარკის ფართობის მრუდები



ნახ. 3.6.3. სიონის წყალსაცავის დამახასიათებელი ელემენტები

- ა) დონის რხევის ქრონოლოგიური გრაფიკები (1 – 1964-1970 წწ.; 2 – 1975-1980 წწ.; 3 – 1981-1985 წწ.; 4 – საპროექტო; 5 – 1987-1990 წწ.; 6 – 2008 წ.)
- ბ) წყალსაცავის მოცულობისა (V) და ზედაპირის სარკის (F) დამოკიდებულება სიღრმესთან (d);
- გ) დონის უზრუნველყოფის (1) და განმეორადობის (2) გრაფიკები

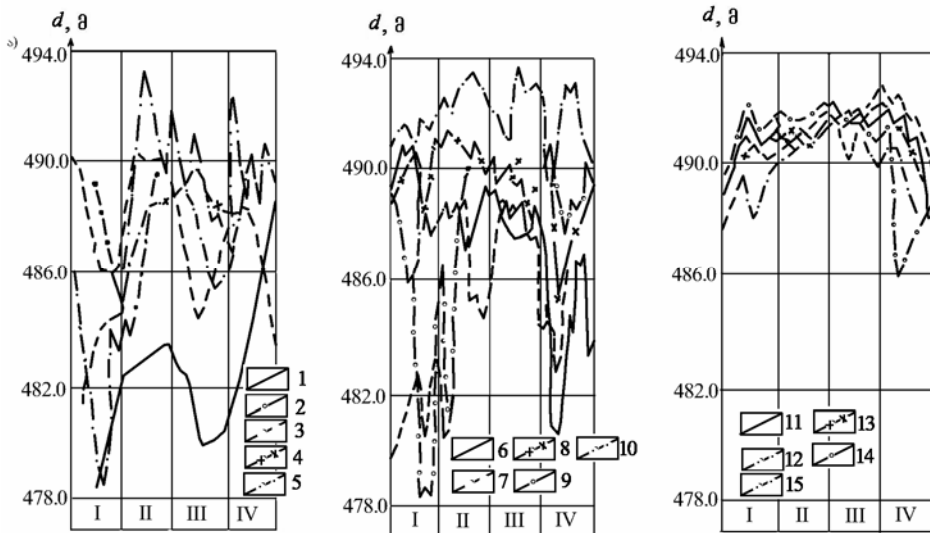


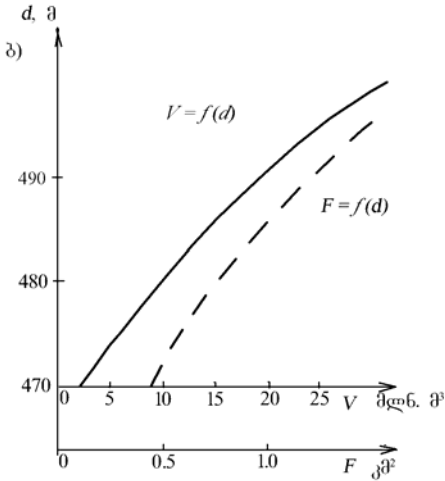
ნახ. 3.6.4. უინვალის წყალსაცავის დონური რეჟიმის დამახასიათებელი ელემენტები

ა) დონის ცვალებადობის კრონოლოგიური გრაფიკები

(1 – 1986 წ.; 2 – 1987 წ.; 3 – 1988 წ.; 4 – საპროექტო გრაფიკი; 5 – 2010 წ.)

ბ) მოცულობისა და სარკის ფართობის მრუდები

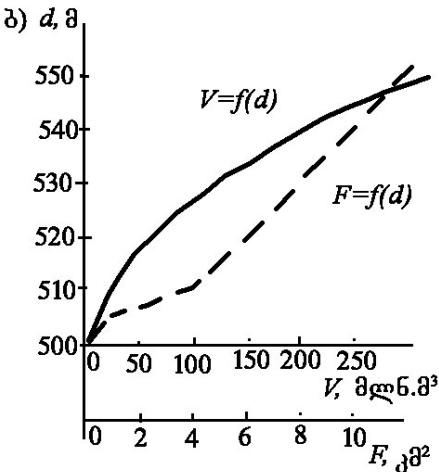
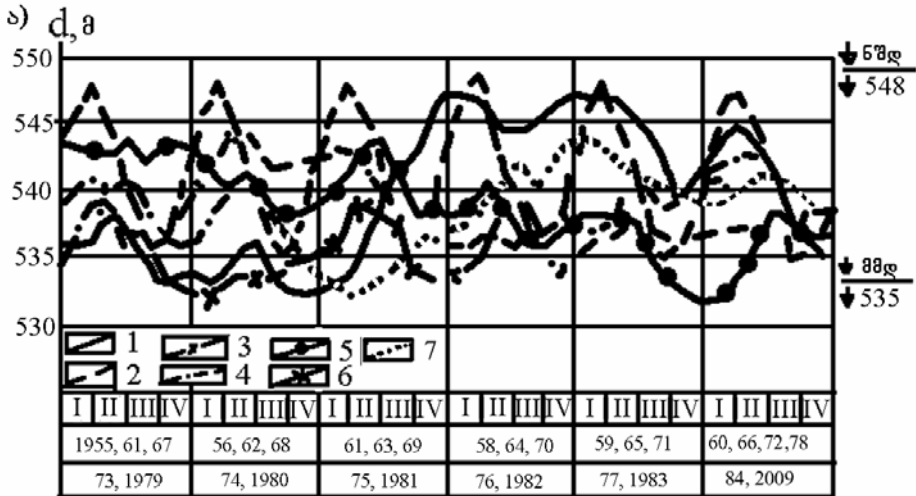




ნახ. 3.6.5. ლაჯანურის წყალსაცავის დონური რეჟიმის დამახასიათებელი ელემენტები

ა) დონის ცვალებადობის ქრონოლოგიური გრაფიკები
 (1 – 1961 წ.; 2 – 1962 წ.; 3 – 1963 წ.; 4 – 1964 წ.; 5 – 1965 წ.; 6 – 1966 წ.; 7 – 1967 წ.; 8 – 1968 წ.; 9 – 1969 წ.; 10 – 1970 წ.; 11 – 1975 წ.; 12 – 1976 წ.; 13 – 1977 წ.; 14 – 1978 წ.; 15 – 1984 წ.).

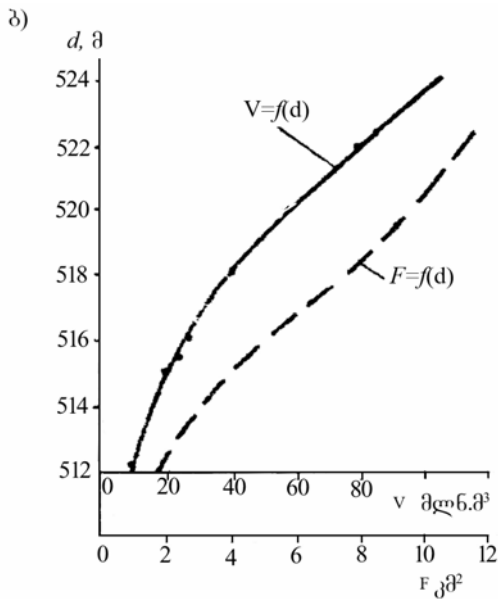
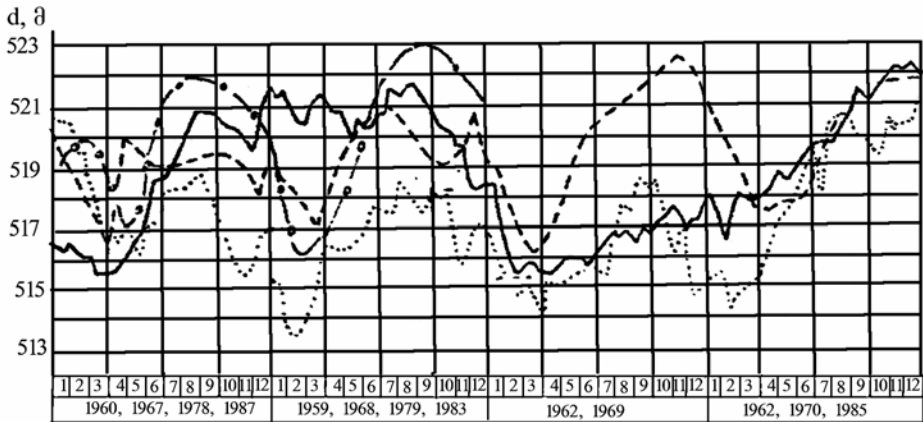
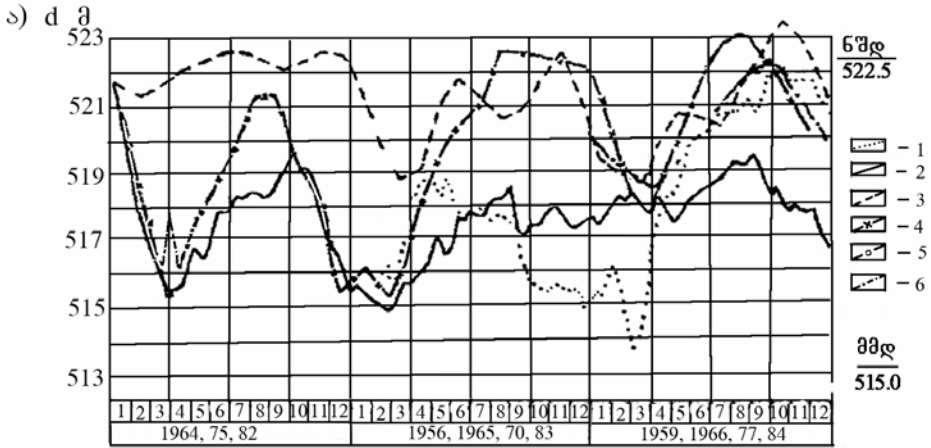
ბ) მოცულობისა და სარკის ფართობის მრუდები



ნახ. 3.6.6. თბილისის წყალსაცავის დონური რეჟიმის დამახასიათებელი ელემენტები

ა) დონის ცვალებადობის ქრონოლოგიური გრაფიკები
 (1 – 1955-60 წწ.; 2 – 1961-66 წწ.; 3 – 1967-72 წწ.; 4 – 1973-78 წწ.; 5 – 1979-85 წწ.; 6 – საპროექტო გრაფიკი; 7 – 2009 წ.).

ბ) მოცულობისა და სარკის ფართობის მრუდები



ნახ. 3.6.7. ტყიბულის
წყალსაცავის დონური რეჟიმის
დამახასიათებელი ელემენტები
ა) დონის ცვალებადობის
ქრონოლოგიური გრაფიკები
(1 - 1958-63 წწ.; 2 - 1964-70 წწ.;
3 - 1975-81 წწ.; 4 - 1982-84 წწ.;
5 - 1987-88 წწ.; 6 - საპროექტო
გრაფიკი);
ბ) მოცულობისა და სარკის
ფართობის მრუდები

მთის წყალსაცავების პირობების დამახასიათებლად შეიძლება მიღებულ იქნეს დონეები:

- დამუშავების დონის მნიშვნელობა ზამთარში;
- მაქსიმალური შევსების დონე გაზაფხულის ბოლოს.

წყლის დონის გადაადგილების სიჩქარე ცალკეულ წყალსაცავებში იცვლება 2,8 მ/დღე-ღამიდან 20-50 მ/დღე-ღამემდე. დონის დგომის უზრუნველყოფა და განმეორადობა იცვლება ცალკეულ წლებში. მათი გასაშუალებელი გრაფიკი ექსპლუატაციის განმავლობაში მოცემულია ნახ. 3.6.8-ზე.

წყალსაცავში წყლის საშუალო საანგარიშო დონე შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n d_i t_i}{nT}, \quad (3.6.1)$$

სადაც d - წყალსაცავში წყლის დონის მნიშვნელობაა სხვადასხვა პერიოდში; t_i - წყლის დონის დგომის დრო ცალკეულ ინტერვალებში; n - დონის ცვლილების შემთხვევების რაოდენობა; T - გასაშუალებული პერიოდი.

წყალსაცავის მოცულობა და წყლის სარკის ფართობი, წყლის კიდის დგომისას ცალკეულ ნიშნულებზე, განისაზღვრება დამოკიდებულებებით:

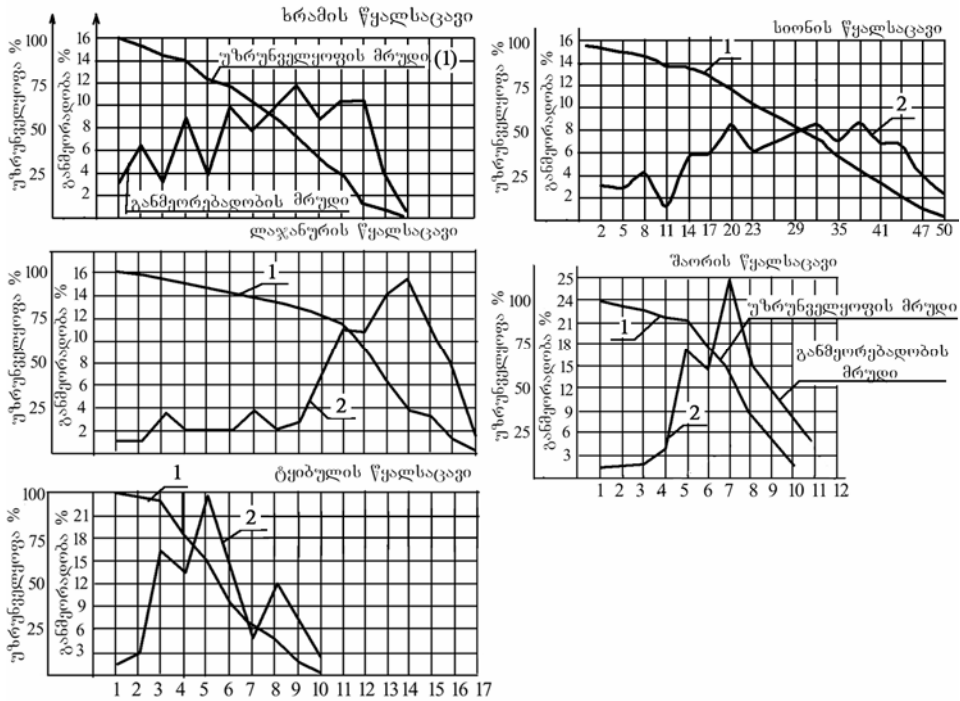
$$V = K_V d^{a_p} \text{ და } F = K_V^a \cdot a d^{a_p-1}, \quad (3.6.2)$$

სადაც K_V - მოცულობის კოეფიციენტი ($K_V = 1,6 \div 2,5$); a_p - რელიეფის კოეფიციენტი.

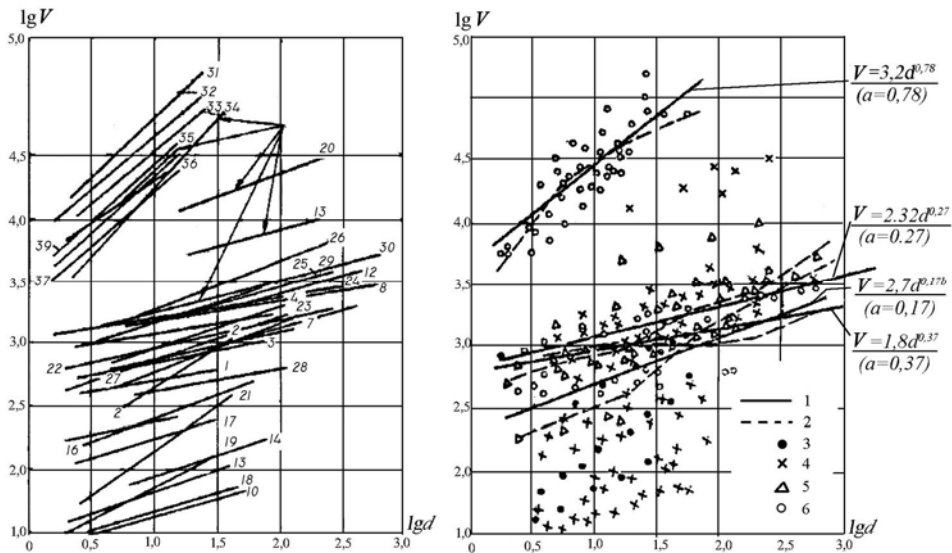
რელიეფის კოეფიციენტის მნიშვნელობა (a) განსაზღვრულ იქნა რიგი წყალსაცავების მონაცემების დამუშავებით (ნახ. 3.6.8). დამოკიდებულება შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს შემდეგი სახით:

$$\lg V = \lg K_V + a_p \lg d. \quad (3.6.3)$$

სიღრმის მიხედვით პირველი წარმომებული საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ წყალსაცავის სარკის ფართობი $F_b = K_V \cdot a_p d^{a_p-1}$, რომელიც შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს შემდეგი სახის წრფით: $\lg F_b = (\lg K_V + \lg a_p) \cdot (a_p - 1) \lg d$, სადაც ორდინატთა (y) ღერძიდან ჩამოჭრილ მონაკვეთს წარმოადგენს სიდიდე $(\lg K_V + \lg a_p)$, ხოლო წრფის დახრილობის კუთხის ლოგარითმს გრაფიკზე აქვს მნიშვნელობა $(a_p - 1)$ (ნახ. 3.6.9). a_p -ს მნიშვნელობის ცვლილება დამოკიდებულია ადგილმდებარეობის რელიეფზე. წყალსაცავის მთიანობის ზრდასთან



ნახ. 3.6.8. წყლის დონის უზრუნველყოფისა და განმეორებადობის მრუდები საქართველოს წყალსაცავებში მათი ექსპლუატაციაში შესვლის დროიდან



ნახ. 3.6.9. წყალსაცავების მოცულობისა (W) და სიღრმის (d) დამოკიდებულება. ა) 1÷30 – მთის წყალსაცავები; 31÷39 – ვაკის წყალსაცავები; ბ) 1 – რეგრესიის ემპირიული წრფე; 2 – რეგრესიის თეორიული წრფე; 3 – ვაკისა და ტბის წყალსაცავები; 4 – მთის წყალსაცავები; 5 – მთისწინა წყალსაცავები; 6 – მაღალმთიანი წყალსაცავები.

ერთად მრუდების დახრილობა დამრეცი ხდება. ეს მაჩვენებლები შეიძლება მიღებულ იქნეს წყალსაცავის დასახასიათებლად რელიეფის ტიპის მიხედვით. K_V და a_p -ს მნიშვნელობების კავშირი ადგილმდებარეობის რელიეფთან, იძლევა წყალსაცავების მიახლოებითი კლასიფიკაციის საშუალებას „მთიანობის“ ხარისხის მიხედვით (ცხრ. 1.4.5):

მოდენითი ცვლილებები მთის წყალსაცავებზე საკმაოდ უმნიშვნელოა. გაქანების მაქსიმალური სიგრძეებისთვისაც კი, რომლებიც საქართველოს მთის წყალსაცავებზე არ აღემატება 10 კმ-ს, შტორმული მოდენის სიდიდემ (ქარისმიერისა და ტალღისმიერის ჯამი) შეიძლება მიაღწიოს 0,5 მ-ს (ცხრ. 3.6.2).

ცხრ. 3.6.2

შტორმული მოდენის მნიშვნელობები საქართველოს მთის წყალსაცავებში

წყალსაცავი	ტალღასაშიში მიმართულეზ, რუზებზ	ქარის უდიდესი სიქარე მ/წმ	ტალღის გაქანება ტალღასაშიში მიმართულეზთ, კმ	გასაშუალეზული სიღრმე ტალღის გაქანების გასწვრივ	ტალღის დაფიქსირეზული უდიდესი სიმაღლე, მ	1%-ანი უზრუნველყოფის ტალღის საანგარიშო სიმაღლე		შტორმული მოდენის სიმაღლე ტალღასაშიში მიმართულეზთ, მ
						ღრმა	წყალზე ჩამოქცევის ზონაში	
გაღის	აღმ.	20	6,0	30	0,8	1,2	1,0	0,25
შაორის	სამხ. დას.	20	5,0	10	0,8	1,2	1,0	0,34
ტეიბუღის	ჩრდ. აღმ.	30	6,0	16	1,0	1,5	1,2	0,40
სიონის	ჩრდ. დას.	20	6,0	33	0,5	1,1	0,8	0,30
თბიღისის	ჩრდ. დას.	30	9,0	20	1,3	1,6	1,4	0,51
ხრამის	ჩრდ. დას.	28	8,7	11	1,1	1,5	1,2	0,41

გარე წყალცვლა, ძირითადად, ხორციელდება წყალშემკრებიდან წყლის შემოსვლის შედეგად.

კოეფიციენტი $K_{გ.დ.} = V_{ნ.მ.} / V_{ს.რ.}$ გვიჩვენებს, თუ წყლის რა ნაწილში შეიცვლება წყალსატევში არსებული წყლის მოცულობა ახლით, ანუ, თუ $K_{გ.დ.} = 1$, ცვლა მოხდება წელიწადში ერთხელ, თუ $K_{გ.დ.} = 10$, წელიწადში 10-ჯერ.

ანალოგიურად, სასარგებლო მოცულობის დინამიკის შესასწავლად გამოიყენება კოეფიციენტი $K_{\text{გ.წ.}}^{\text{სახ.}} = V_{\text{ნამ.}} / V_{\text{სახ.}}$. მთის წყალსაცავების წყალცვლის კოეფიციენტი საკმაოდ მაღალია, ანუ წყალცვლა მიმდინარეობს საკმარისი ინტენსივობით (ცხრ. 3.6.3). წყალცვლა უფრო ინტენსიურია წყალსაცავის დასაწყისში და იზრდება კაშხლის მიმდებარე ნაწილში.

ცხრილი 3.6.3

საქართველოს წყალსაცავების წყალცვლის ძირითადი მაჩვენებლები

№	წყალსაცავის დასახელება	მოცულობა		რეგულირების ტიპი	წყალგაცვლა				კლასი წყალცვლის მიხედვით
		სრული, მლნ.მ ³	სასარგებლო, მლნ.მ ³		სრული მოცულობა		სასარგებლო მოცულობა		
					$K_{\text{გ.წ.}}$, წელი	რაოდენობა წელიწადში	$K_{\text{გ.წ.}}$, წელი	რაოდენობა წელიწადში	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	კუმისის	11,0	4,0	სეზონური	2,41	0,41	6,62	0,15	IV
2	თბილისის	308,0	155,0	სეზონური	1,69	0,59	5,61	0,18	IV
3	ხრამის	312,0	292,0	სეზონური	1,01	0,99	1,08	0,92	IV
4	სიონის	325,0	300,0	სეზონური	0,95	1,10	1,00	1,00	IV
5	თავწყაროს	1,3	0,96	სეზონური	0,78	1,29	1,05	0,95	IV
6	მარაბდის	1,2	1,2	სეზონური	0,75	1,33	0,75	1,33	IV
7	ლაფიანის	3,5	3,5	სეზონური	0,74	1,35	0,74	1,35	IV
8	დმანისის	11,0	11,0	სეზონური	0,79	1,35	0,74	1,35	IV
9	ნარეკეავის	6,8	5,6	სეზონური	0,72	1,39	0,87	1,15	IV
10	ჯანდარის	52,0	23,0	სეზონური	0,72	1,39	1,62	0,62	IV
11	მთისძირის	3,33	2,95	სეზონური	0,68	1,50	0,76	1,31	IV
12	კუმისხევის	4,0	2,27	სეზონური	0,62	1,60	1,09	1,21	IV
13	კრანჭისხევის	1,26	0,92	სეზონური	0,51	2,00	0,72	1,39	III
14	აღბეთის	65,0	60,0	მრავალწლიური	0,50	2,00	0,54	1,85	III
15	ცხენისის ჭა	1,50	1,46	სეზონური	0,38	2,63	0,58	1,72	III
16	ჭაღის	1,70	1,40	სეზონური	0,37	2,70	0,45	2,22	III
17	ჟინვალის	520,0	370,0	სეზონური	0,37	2,70	0,52	1,92	III
18	ნადარბაზევის	8,2	7,2	სეზონური	0,32	2,72	0,36	2,78	III
19	ზრესის	2,08	1,28	სეზონური	0,26	3,80	0,42	2,38	II
20	პატარა ლიახვის	40,0	39,0	სეზონური	0,13	7,70	0,13	7,70	II

აღმოსავლეთ საქართველოს საირიგაციო წყალსაცავებში წყალ-
ცვლა ხდება 0,4-8-ჯერ წელიწადში.

წყალცვლის ძირითადი დამახასიათებელი პერიოდებია: გაზაფხუ-
ლის დასაწყისი, წყალმოვარდნისას და შემოდგომის ბოლო, წყლის
მცირე მოცულობისა და მნიშვნელოვანი დამუშავებისას. ამასთან,
წყალცვლა მნიშვნელოვნად იზრდება დიდი წყლიანობის წლებში,
გაზაფხულის წყალდიდობის წყლების გადაგდების ხარჯზე.

შიდა წყალცვლა განპირობებულია სხვადასხვა პროცესების (დინე-
ბები, შერევა, ტალღები) განვითარებით თვით წყალსატევში. ამასთან,
პულსაციები გამოწვეულია ჰორიზონტალური მიმართულების დინებე-
ბით და ვერტიკალური ტალღური მოვლენებით. დაკვირვებების მონა-
ცემებით, ჰორიზონტალური წყალცვლა უფრო ინტენსიურია, ვიდრე
ვერტიკალური. ამასთან, ვერტიკალური ცვლა მცირდება სიღრმის
ზრდასთან ერთად. აღნიშნულთან დაკავშირებით, ვერტიკალური ცვლა
მოიცავს წყლის სიღრმის 5-10%-მდე (ზედა) ფენას, ე.ი. აქვს საკმაოდ
მცირე მნიშვნელობა.

მთის წყალსაცავებში დინებას აქვს თავისი სპეციფიკა. აქ ფორმი-
რებული დინებების ძირითადი ტიპებია: გამდინარე დინებები – შეინიშ-
ნება წყალსატევის შუა ნაწილში და განპირობებულია მდინარეთა
წყლის დიდი მოცულობის ჩამონადენით; ტალღური – გამოწვეულია
ტალღების ზემოქმედებით და განსაზღვრავს წყლის მასების გადაად-
გილებას ნაპირის გასწვრივ; ფსკერთან ახლომდებარე ფენებში წარ-
მოქმნილი დინებები – ნაკადში წვრილფრაქციული ლამის ნაწილაკე-
ბის არსებობის შემთხვევაში.

დინების სხვა ტიპები – ბაროგრადიენტული, სეისმური, ინერციუ-
ლი – მორფომეტრიის თავისებურებების გამო, მთის მცირე წყალსაცა-
ვებში, პრაქტიკულად, არ აღინიშნება.

ჰორიზონტალური მიმართულების დინებები აღინიშნება წყალდი-
დობების დროს. დინებები განვითარებულია შეტბორვის დონის გამო-
სოლვის რაიონებში და მდინარეთა კალაპოტების ყოფილი შეჭრის
ადგილების გასწვრივ.

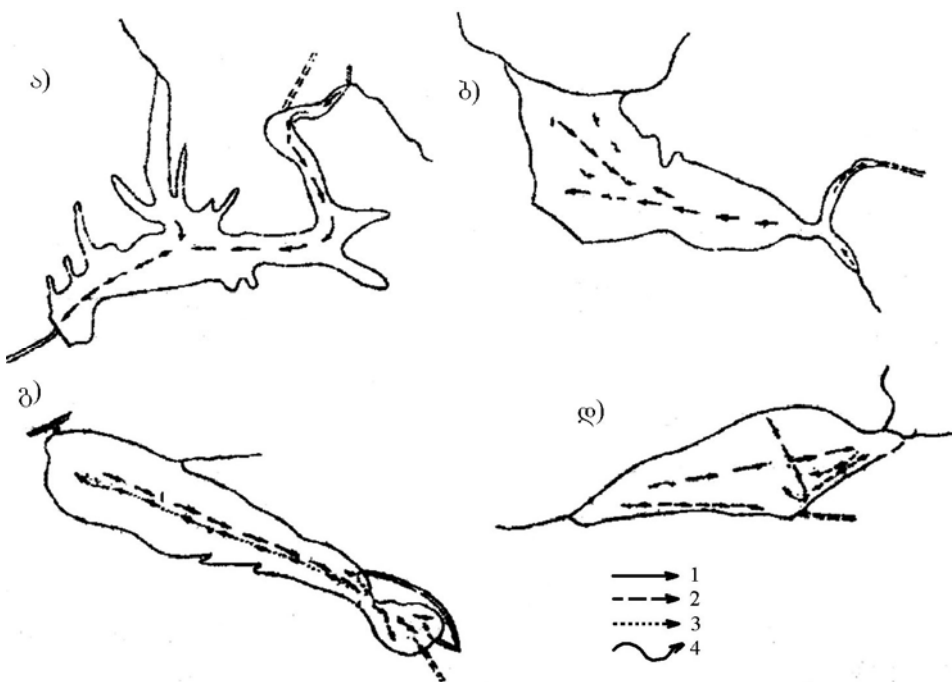
ამ ტიპის დინებების ძირითადი ზემოქმედებაა – სუსპენზიური
ნაკადების ფორმირების შესაძლებლობის გაზრდა, რაც ხელს უწყობს:
ნატანის დანალექების გადაადგილებას და მის თავმოყრას კაშხალთან;
ნატანის წვრილი ფრაქციის გამოტანას გამორეცხვების მეშვეობით
ჰიდროკვანძის ქვედა ბიეფში.

ქარისმიერი დინებები წარმოიქმნება ძლიერი ქარების დროს,
შემოდგომა-ზამთრის პერიოდში. მთის წყალსაცავებში ისინი საკმაოდ

იშვიათია. დინების მიმართულება ემთხვევა ქარის მიმართულებას, ხოლო სიჩქარე არ აღემატება ქარის სიჩქარის 0,5-1%-ს. ეს დინებები შეინიშნება მხოლოდ წყლის ზედაპირულ, არა უმეტეს 1,5 მ სისქის ფენაში.

ნაპირის გასწვრივი ქარების განვითარებისას ფორმირდება **ნაპირის გასწვრივი დინებები**. მთის წყალსაცავებში, სანაპირო ხაზის ძლიერი დასერილობის გამო, ნაპირის გასწვრივ დინებებს არ აქვს ფართო გავრცელება და, პრაქტიკულად, არსებით როლს არ ასრულებს მის ფორმირებაში.

საქართველოს რიგ წყალსაცავებში გამოყოფილია დინებების ძირითადი თავისებურებანი, რომლებიც შეიძლება დავიყვანოთ შემდეგზე (ნახ. 3.6.10).



ნახ. 3.6.10. დინებები გალის (ა), შაორის (ბ), თბილისის (გ) და ხრამის (დ) წყალსაცავებში.

- 1 – დრეიფული დინება; 2 – ჰორიზონტალური მიმართულების დინება;
3 – კომპენსაციური დინება; 4 – გრადიენტული დინება

ხრამისა და შაორის წყალსაცავებში, გარდა ქარისმიერი დინებისა, არსებობს ასევე დინება, განპირობებული წყალსატევის ფსკერზე გამოძავალი ძლიერი წყაროებით.

გალის წყალსაცავში ძირითად ფაქტორებს, რომლებიც განაპირობებს წყლის მასების გადატანას, წარმოადგენს: ჯვრის წყალსაცავიდან გადაგდებული წყლები, წყალდება ვარდნილჰეს 1-ზე, შენაკადების ჩამონადენი და ქარის მოქმედება. ამიტომ, უფრო გამდინარეა მისი ზედა და ქვედა ზონები. მდ. დიდი ერისწყლის შესართავთან, ჰორიზონტალური მიმართულების დინების ზედაპირული სიჩქარე 60 სმ/წმ-ს აღწევს, ხოლო ფსკერთან ახლო (3,1-3,5 მ სიღრმეზე) – 30 სმ/წმ-ს. ენგურჰესის ენერგეტიკულ გვირაბში გაშვებისას დინების სიჩქარე იზრდება 200-250 სმ/წმ-მდე.

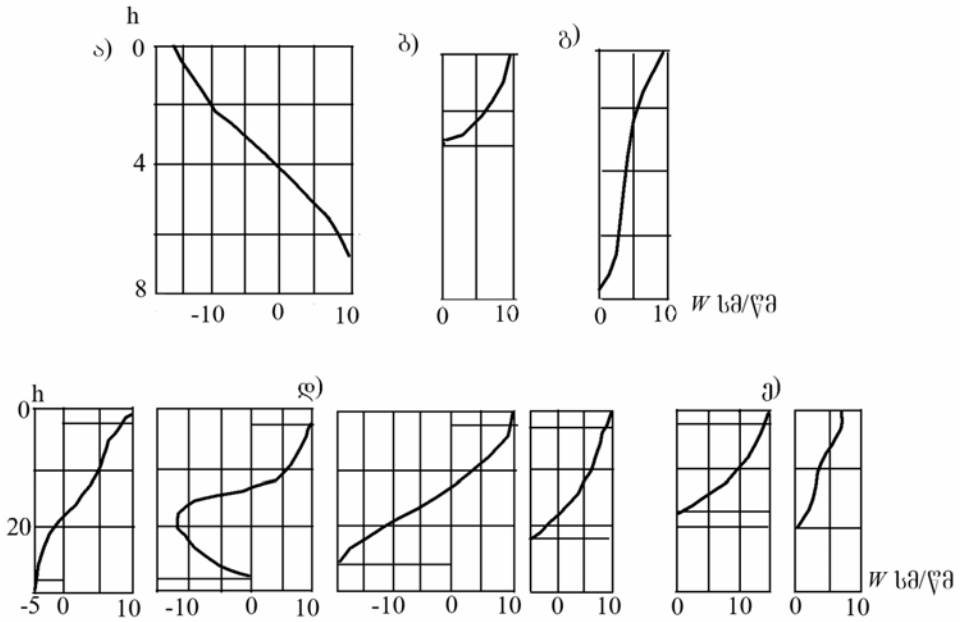
წყალსაცავის ქვევით დინების სიჩქარე მცირდება. ყველაზე დიდი სიჩქარეები შეიმჩნევა ზედაპირულ ფენაში – 36 სმ/წმ, ფსკერთან – 18 სმ/წმ. ქვედა ზონაში (კაშხლიდან 0,5-0,7 კმ-ით ზევით) წყლის მასების მოძრაობა განისაზღვრება ქვედა ბიეფში გადაგდებული წყლის მოცულობით. უდიდესი ხარჯისას (400 მ³/წმ-მდე) დინების ზედაპირული სიჩქარე აღწევს 30-35 სმ/წმ-ს. სიღრმის ზრდასთან ერთად დინების სიჩქარე მცირდება 7-16 სმ/წმ-მდე.

შაორის წყალსაცავში დინებები შედარებით სუსტია, რადგან მას არ გააჩნია მსხვილი შენაკადები. ყველაზე უფრო გამდინარეა მდ. შაორის შესართავის უბანი და პერევისას ყურე (ნახ. 3.6.11). შაორის წყალსაცავის ძირითადი დინებებია: ჰორიზონტალური მიმართულების, დრეიფული და წყლის განსხვავებული სიმკვრივით გამოწვეული დინებები. პირველი მათგანი შეიმჩნევა ძირითადი შენაკადის შესართავში და პერევისას ყურეში, მეორე – წყალსატევის ღრმაწყლიან ზონაში და კაშხალთან, ხოლო მესამე – კარსტული წყაროების გამოსავალთან. ჰორიზონტალური მიმართულების დინებას მდ. შაორის შესართავში წყალდიდობის დროს დიდი (10-12 სმ/წმ) სიჩქარე აქვს. ამგვარი დინება პერევისას ყურეში წარმოიქმნება ენერგეტიკული წყალაღების დროს.

თბილისის წყალსაცავში ძირითად ფაქტორებს, რომლებიც განაპირობებს წყლის მოძრაობას, წარმოადგენს ქარი და არხებიდან გადაგდებული წყლები. ამიტომ აქ შეინიშნება ქარისმიერი და ჰორიზონტალური მიმართულების დინებები.

დრეიფული დინება ვითარდება ქარისმიერი ჩრდილის საზღვარზე. დინების ტალღის მიერ 0,35 მ სიმაღლის მიღწევისას წყლის ნაწილი იწყებს გადაადგილებას მარცხენა ნაპირის გასწვრივ.

ხრამის წყალსაცავში ჭარბობს ჰორიზონტალური მიმართულების და ქარისმიერი დინებები. დინება, რომელსაც წარმოქმნის მდინარეები ქცია-ხრამი, ბეიუქჩაი და ყორსუ, ვრცელდება წყალსაცავში სამხრეთ-დასავლეთიდან და აღმოსავლეთიდან.

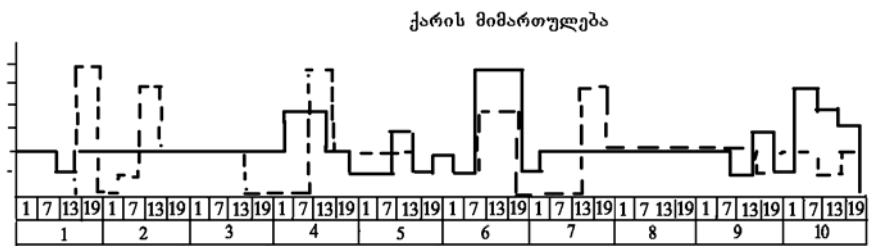
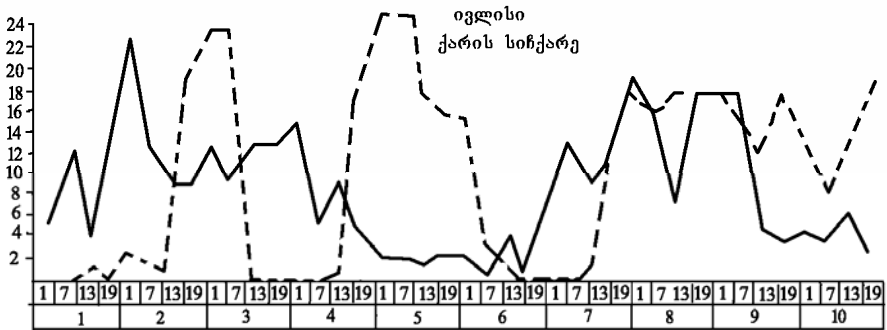
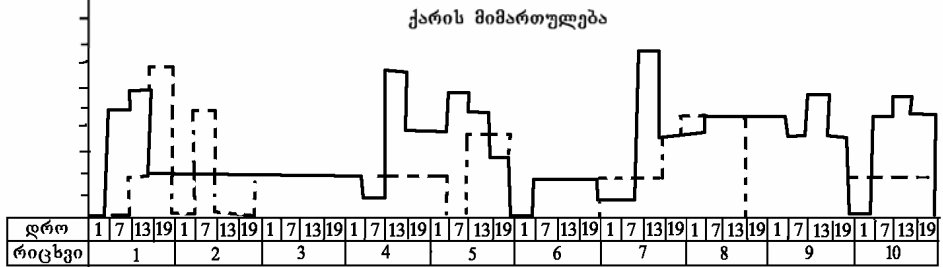
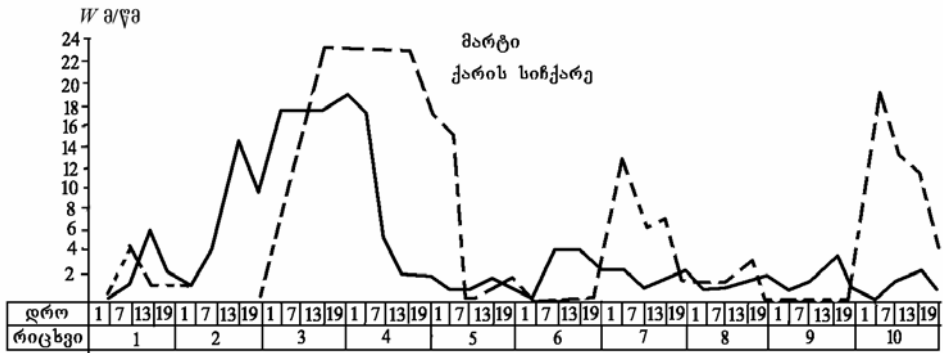


ნახ. 3.6.11. შაორის (ა, ბ, გ) და თბილისის (დ, ე) წყალსაცავების დინებების სიჩქარეთა ეპიურები
 ა – ხიდის კვეთში; ბ – მდ. შაორის შესართავში; გ – ფსკერული წყალგამშვების კოშკთან; დ – ძლიერი ქარის შემდეგ; ე – წყნარ ამინდში.

მთიანი რეგიონების ქარის რეჟიმი ხასიათდება დიდი ცვალებადობით დროში, როგორც სიძლიერით, ისე მიმართულებით და მნიშვნელოვანი სიჩქარეების განვითარებით. ქარების სიჩქარე და მიმართულება იცვლება ყოველგვარი კანონზომიერების გარეშე, 14-დან 40 მ/წმ-მდე საზღვრებში, დღე-ღამის განმავლობაშიც კი.

ქარების განმეორადობის ვარდი გაჭიმულია გაბატონებული ქარების მიმართულებით და ემთხვევა წყალსაცავის ფორმას, ამასთან, 20 მ/წმ-ზე მეტი სიჩქარე, ძირითადად, ახასიათებს ჩრდილო-დასავლეთ და დასავლეთ-ჩრდილო-დასავლეთის მიმართულების ქარებს. მაქსიმალური სიჩქარეები იცვლება 15-დან 40 მ/წმ-მდე, უდიდესი უზრუნველყოფა (30%-მდე) აქვს ქარებს 11-15 მ/წმ სიჩქარის ინტერვალში; წყნარი ამინდის პროცენტი არ აღემატება 10-15%-ს.

საველე კვლევების მონაცემებით, მთის წყალსაცავებში შეიმჩნევა დიდი სიმაღლის ტალღების წარმოქმნა, დროში სწრაფი გარდაქმნის უნარით, ძირითადი პარამეტრების ცვლილებებით ქარის სიძლიერისა და მიმართულების ცვლილებისას (ნახ. 3.6.12).

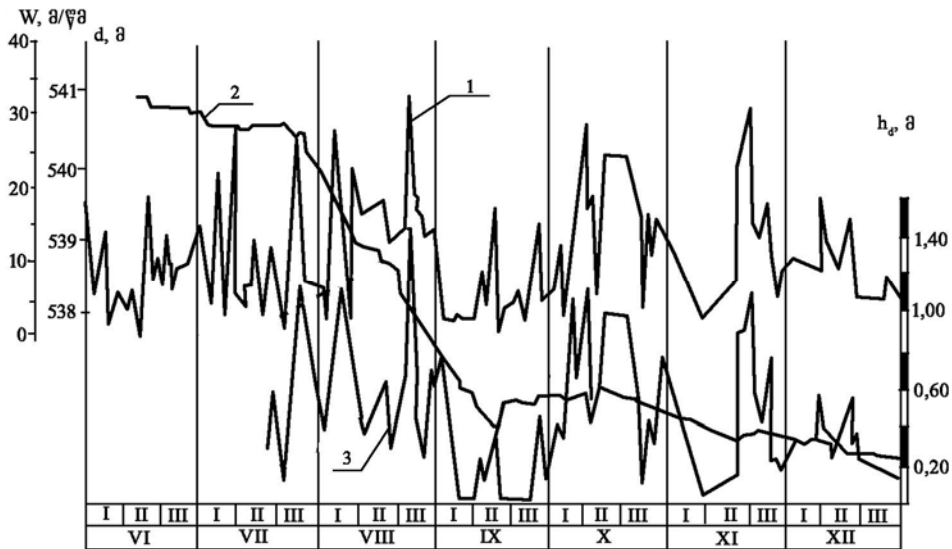


ნახ. 3.6.12. ქარის სინქარისა და მიმართულების განაწილება დღე-ღამის განმავლობაში თბილისის წყალსაცავზე

წყლის სარკის მცირე ფართობებისა და დიდი სიღრმეების გამო, ტალღების სიმაღლე იცვლება წყლის დონის ცვლილებისას (ნახ. 3.6.13). მაგალითად, გაზომვების მიხედვით, თბილისის წყალსაცავში წყლის დონის დაწვევისას 8-10 მ-ით, ტალღების სიმაღლე მცირდება

10-15%-ით. დაკვირვებების მონაცემებით, რიგ წყალსაცავებში ტალღების სიმაღლეთა ცვლილება 30-40%-ს აღწევდა. ქარსა და დელვას შორის კავშირი უფრო მჭიდროა, ვიდრე მსხვილ ვაკის წყალსაცავებში, ამიტომ ტალღების სიმაღლე და განმეორადობა მნიშვნელოვნად მცირე იყო. ძირითადად, ფორმირდება მნიშვნელოვანი დახრილობის ტალღები (1/6-1/12-მდე), რაც განაპირობებს ქიმის მკვეთრ და ნაადრევ ჩამოქცევას.

ქარისმიერი დელვა არის ძირითადი შიდაწყალსატევური პროცესი, რომელიც განსაზღვრავს ტექნოგენური ობიექტის ურთიერთქმედებას გარემოსთან.



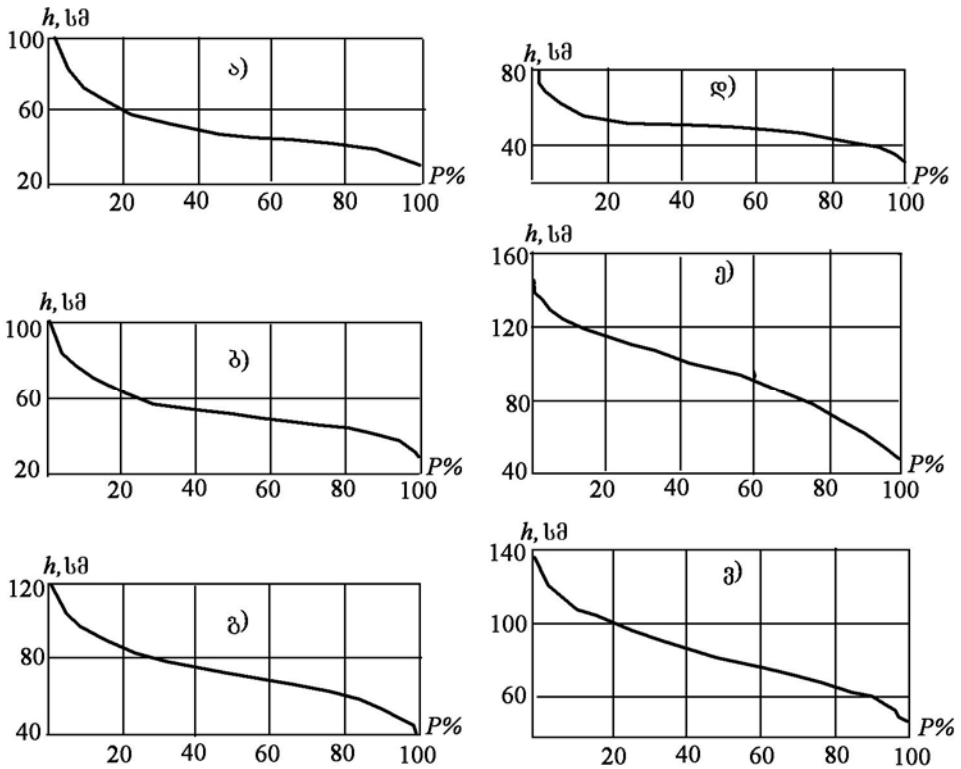
ნახ. 3.6.13. წყლის დონეების, ქარის სიჩქარეებისა და ტალღების სიმაღლეების გაერთიანებული გრაფიკი საველე გაზომვების მონაცემებით.

1 – ქარის სიჩქარის გრაფიკი; 2 – წყლის დონის გრაფიკი; 3 – ტალღის სიმაღლის გრაფიკი

ქარისმიერი დელვა წყალსაცავების „ღრმა წყლებზე“ განისაზღვრება ქარის რეჟიმის თავისებურებებით, მორფომეტრიით და დონეთა ცვალებადობით. მთის წყალსაცავების მაღალი ნაპირები ზრდის წყლის ზედაპირთან ქარის შეხების კუთხეს, რაც იწვევს მნიშვნელოვანი დახრილობის ტალღების წარმოქმნას. მთის წყალსაცავების უმეტესობაზე ძლიერი ქარების მოქმედების პერიოდი (ზამთარი-გაზაფხული) ემთხვევა დამუშავების პერიოდს. ეს ამცირებს ტალღების გაქანების სიგრძეს და წყლის სიღრმეს და ამით ასუსტებს ტალღების განვითარებას (ნახ. 3.6.14, 3.6.15). რიგ მთის წყალსაცავებზე ქარისმიერი დელვის მასალების ანალიზის მონაცემები შეიძლება დავიყვანოთ

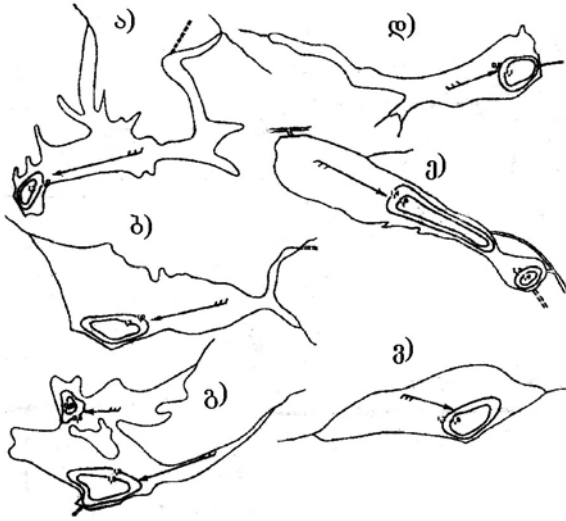
შემდეგზე [Варазашვილი Н.Г. 1970-80 гг., Иорданишвили И.К. 1976-2009 гг., Метревели Г.С. 1985 г.]:

– გალის წყალსაცავზე ჭარბობს დასავლეთის და აღმოსავლეთის რუმბების დეფვა. 1%-იანი უზრუნველყოფის ტალღის სიმაღლემ კაშხალთან შეიძლება შეადგინოს 1,0 მ, ხოლო წყალსაცავის ქვედა ზონის „ღრმა წყალზე“ (ნახ. 3.6.14ა) – 1,2 მ. ამასთან, შტორმული მოდენის სიმაღლე კაშხალთან აღწევს 0,25 მ-ს.



ნახ. 3.6.14. ტალღების სიმაღლეების უზრუნველყოფის გასაშუალებული მრუდები გალის (ა), შაორის (ბ), ტყიბულის (გ), სიონის (დ), თბილისისა (ე) და ხრამის (ვ) წყალსაცავების ტალღასაშიშ მიმართულებაზე

– შაორის წყალსაცავზე ყველაზე მეტი განმეორადობა აქვს სამხრეთისა და სამხრეთ-დასავლეთის მიმართულებების დეფვას. ტალღები ამ წყალსაცავში გამოირჩევა მნიშვნელოვანი დახრილობით. 22-24 მ/წმ სიჩქარის სამხრეთ-დასავლეთის ქარის დროს ტალღის ყველაზე დიდი სიმაღლე აღწევს 0,8 მ-ს, რაც გაზომილ იქნა ფსკერული წყალგამშვების კოშკთან. აღმოსავლეთის ქარის დროს გაზომილი ტალღის მაქსიმალური სიმაღლე უდრის 0,5 მ-ს. 1%-იანი უზრუნველყოფის სამხრეთ-დასავლეთის ქარის დროს ტალღის მაქსიმალური სიმაღლე



ნახ. 3.6.15. 1%-იანი უზრუნველყოფის ქარისმიერი ტალღების სიმაღლეთა ოზონაზების კარტოგრამები გალის (ა), შაორის (ბ), ტყიბულის (გ), სიონის (დ), თბილისისა (ე) და ხრამის (ვ) წყალსაცავებზე

1,0 მ-ის ტოლია, ხოლო შტორმული მოდენის – 0,4 მ-ის.

– **ტყიბულის წყალსაცავზე** ჭარბობს ჩრდილო-აღმოსავლეთისა და სამხრეთ-დასავლეთის მიმართულებების დეღვა. ყველაზე უფრო საშიშია ჩრდილო-აღმოსავლეთის მიმართულების დეღვის ტალღების ყველაზე დიდი სიმაღლე 1 მ-ს უდრის, ხოლო სამხრეთ-დასავლეთის (ახალსოფლის საგუშაგოსთან) – დაახლოებით 0,8 მ. 1%-იანი უზრუნველყოფის ტალღის სიმაღლე ზვირთცემის ზონაში, კაშხლის წინ –

1,2 მ-ს აღწევს, ხოლო ყველაზე დიდი სიღრმეების ზონაში – 1,5 მ-მდე. 1%-იანი უზრუნველყოფის ტალღისას შტორმული მოდენის სიმაღლე კაშხალთან აღწევს 0,32 მ-ს, ხოლო მის მიმდებარე ყურეებთან – 0,37-0,40 მ-ს.

– **სიონის წყალსაცავზე** დეღვის განვითარებისათვის ნაკლებად ხელსაყრელი პირობებია. იგი გაშლილია სამხრეთ-დასავლეთისა და სამხრეთ-აღმოსავლეთის ქარებისათვის. სამხრეთ-დასავლეთის მიმართულების ქარის დროს კაშხლის მარცხენა ფრთასთან გაზომილი ტალღის უდიდესი სიმაღლე არ აღჭარბებდა 1,1 მ-ს, ხოლო ტალღების საშუალო სიმაღლე მერყეობდა 0,3-0,4 მ საზღვრებში.

– **თბილისის წყალსაცავზე** ქარისმიერი ტალღების განვითარებისათვის ყველაზე უფრო ხელსაყრელი პირობებია: ქარის მაქსიმალური სიჩქარე – 30 მ/წმ, გაქანების სიგრძე – 9,0 კმ, საშუალო სიღრმე გაქანების სიგრძეზე – დაახლოებით 20 მ, ხოლო კუთხე ყველაზე უფრო ძლიერი ჩრდილო-დასავლეთის ქარის მიმართულებასა და წყალსაცავის დერძს შორის 5°-ზე ნაკლებია. თბილისის წყალსაცავზე ტალღის მაქსიმალური სიმაღლე და შტორმული მოდენის სიდიდე, გაზომილი დაახლოებით 25 მ/წმ სიჩქარის ჩრდილო-დასავლეთის ქარის დროს, აღწევდა, შესაბამისად, ქარისაგან დამცავ კონცხის ნაპირთან – 0,8 და

0,3 მ-ს, ხოლო სამხრეთ-აღმოსავლეთის ნაპირთან – 1,3 და 0:4 მ-ს. 1%-იანი უზრუნველყოფის ტალღების სიმაღლე „დიდ„ და „მცირე“ ზღვების სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაპირებზე ტოლია, შესაბამისად, 1,6 და 1,4 მ-ის ღრმა წყალზე, ხოლო სანაპირო ზონაში – 1,4 და 1,3 მ-ის.

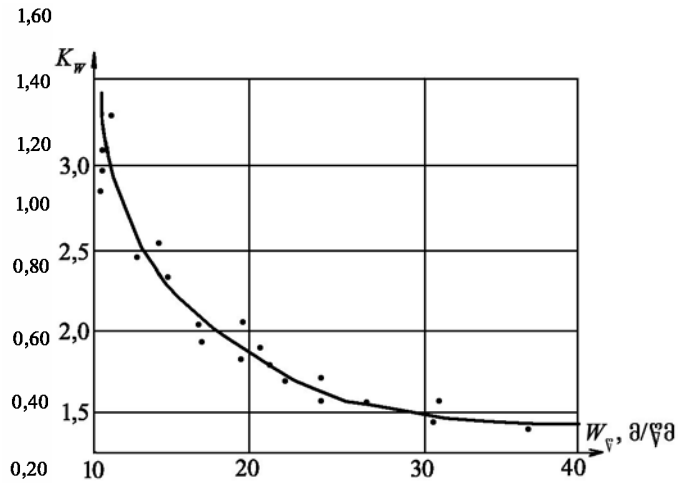
– **ხრამის წყალსაცავზე** ჭარბობს დასავლეთის და სამხრეთ-აღმოსავლეთის რუბების დეღვა. დეღვის განვითარებისათვის ხელსაყრელი პირობები იქმნება ჩრდილო-დასავლეთის ქარის დროს, რომლის მაქსიმალურმა სიჩქარემ შეიძლება 28 მ/წმ-ს მიაღწიოს. წყალსაცავზე გაბატონებულია 0,4-0,5 მ-მდე სიმაღლის ტალღები, ხოლო ტალღის მაქსიმალური სიმაღლე, რომელიც დაფიქსირებულ იქნა 20 მ/წმ სიჩქარის ჩრდილო-დასავლეთის ქარის დროს, აღწევდა 1,2 მ-ს. 1%-იანი უზრუნველყოფის ტალღების უდიდესი სიმაღლე შეიძლება აღინიშნოს სამხრეთ-დასავლეთის ქარის დროს, რომელსაც შეუძლია წარმოქმნას ღრმა წყალზე –1,5 მ-მდე, ხოლო ჩამოქცევის ზონაში – 1,2 მ-მდე სიმაღლის ტალღა. ამასთან, შტორმული მოდენის სიმაღლე კაშხალთან აღწევს 0,40 მ-ს.

მონაცემების განზოგადებით შეიძლება ითქვას:

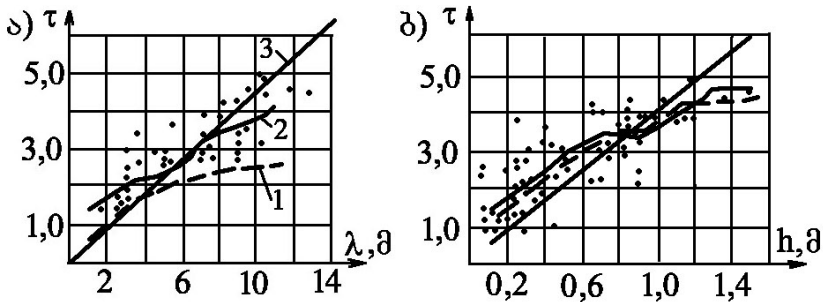
– მთიან რეგიონებში ქარის რეჟიმი ხასიათდება დიდი ცვალებადობით დროში სიძლიერით და მიმართულებით, ასევე მნიშვნელოვანი სიჩქარეების განვითარებით, რაც განპირობებულია ადგილმდებარეობის რელიეფით. ქარის სიჩქარე და მიმართულება იცვლება ყოველგვარი კანონზომიერების გარეშე, დღე-ღამის განმავლობაშიც კი. ქარების გაბატონებული სიჩქარე აღწევს 15-20 მ/წმ, ხოლო მაქსიმალური – 30-40 მ/წმ-მდეა. აღნიშნულთან დაკავშირებით, მთიანი რეგიონის პირობებში, აუცილებელია მაჩვენებლების დამუშავებისას გათვალისწინებულ იქნეს ქარის სიჩქარის გრადაცია ჯგუფებად: 15÷20 მ/წმ, 20÷25 მ/წმ, 30÷35 მ/წმ და 35÷40 მ/წმ. მთის წყალსაცავებში ქარისმიერი ტალღების და ტალღური მოდენის ელემენტების განსაზღვრისას, საანგარიშო შტორმის უზრუნველყოფა მიღებული უნდა იქნეს ნაგებობის კლასის გათვალისწინებით, სახელობრ: I და II კლასის ნაგებობებისათვის – არა უმეტეს 2%-სა, ხოლო III და IV კლასისათვის – არა უმეტეს 4÷5%-სა. ტალღური მახასიათებლების უტყუარობის განსასაზღვრად აუცილებელია წყლის ზედაპირზე ქარის სიჩქარის ცვლილების გათვალისწინება. წყლის ზედაპირზე ქარის სიჩქარე (W_{φ}) შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით: $W_{\varphi} = W_c K_w$, გადაყვანი კოეფიციენტის (K_w) მნიშვნელობა გამოითვლება გრაფიკით (ნახ. 3.6.16).

ტალღების პროფილი მთის წყალსაცავებზე მნიშვნელოვნად განსხვავდება ტროქოიდალურისგან, ძირითადად, უფრო წვეტიანი წვეროებით და დამრეცი ძირებით.

გაზომვების მონაცემებით, ტალღების პერიოდის თეორიულ დამოკიდებულებასთან შედარებამ გამოავლინა პერიოდის სისტემატური შემცირება (ნახ. 3.6.17ა). ტალღების პერიოდებსა და სიმაღლეებს შორის კავშირის გამოკვლევისას მიღებულია მიახლოება თეორიულ საანგარიშო მრუდთან (ნახ. 3.6.17ბ). არარეგულარულობა ტალღების განვითარებაში მთის წყალსატევებში საკმაოდ ნათლად ვლინდება (ნახ. 3.6.18). მონტე-კარლოს მეთოდის გამოყენებამ საშუალება მოგვცა განგვესაზღვრა ტალღების სიმაღლის განაწილების ხასიათი დროის მცირე შუალედებში.



ნახ. 3.6.16. ქარის სიჩქარის ($W_{\text{წ}}$) განსაზღვრა წყლის ზედაპირზე

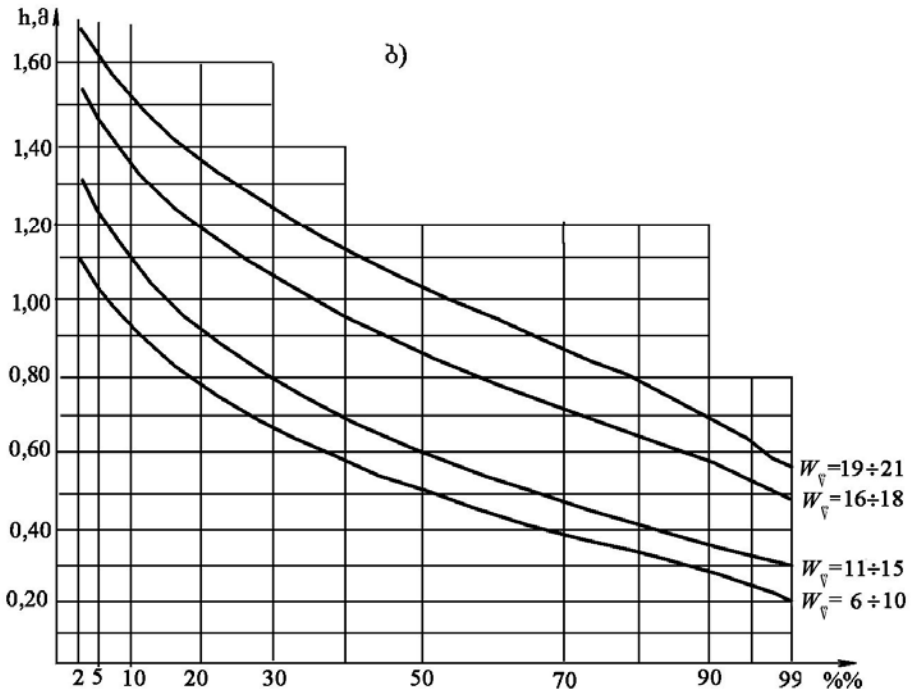
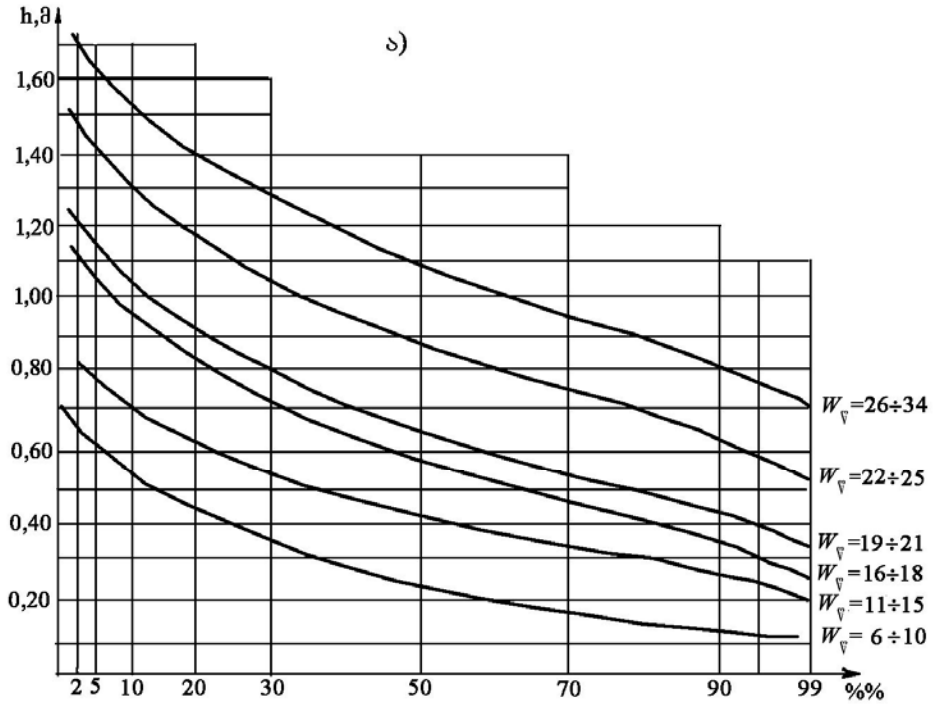


ნახ. 3.6.17. პერიოდის კავშირი ტალღის სიგრძესთან (ა) და სიმაღლესთან (ბ) მთის წყალსატევებზე, დაკვირვებების მიხედვით. პირობითი აღნიშვნები: 1 – მრუდები ტალღების ტროქიდალური

თეორიის თანახმად
$$\tau = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g} \operatorname{ch} t \frac{2\pi d}{\lambda}}; \tau = 4,08h^{0,59};$$

2 – რეგრესიის ემპირიული მრუდები (მთის წყალსატევებზე დაკვირვებების მიხედვით);

3 – რეგრესიის თეორიული მრუდები, $\tau = 0,45L$, $t = 4,45h$.



ნახ. 3.6.18. ტალღების სიმაღლის უზრუნველყოფის მრუდები თბილისისა (ა) და ხრამის (ბ) წყალსაცავებზე, ქარის სხვადასხვა სიჩქარისათვის

პრაქტიკული გაანგარიშებებისათვის შესაძლებელია ინტეგრალური დამოკიდებულებების გამოყენება, რომლებიც აკავშირებს ტალღების საშუალო პარამეტრებს საანგარიშო ტალღაწარმოქმნის ფაქტორების ძირითად სიდიდეებთან.

მთის წყალსაცავებზე წყლის სარკის მცირე ფართობებისა და მნიშვნელოვანი სიღრმეების შედეგად, ტალღების სიმაღლე იცვლება 10÷20%-ის ფარგლებში, წყლის დონის 8÷10 მ-მდე ცვლილებისას (ნახ. 3.6.13).

ქარისმიერი ტალღების ელემენტებზე დაკვირვების მონაცემებით, ვარიაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა უწყვეტ ჯგუფებში მერყეობს $C_V = 0,25 \div 0,42$ ფარგლებში და გასაშუალებული შეიძლება მიღებულ იქნეს $C_V = 0,32$ და $C_S = 0,64$ მნიშვნელობებისას:

$$P\left(\frac{h}{\bar{h}}\right) = \frac{b^a}{\Gamma(a)} \cdot \left(\frac{h}{\bar{h}}\right)^{a-1} \cdot e^{-b\frac{h}{\bar{h}}}, \quad (3.6.4)$$

სადაც a და b – დადებითი ემპირიული სიდიდეებია, $\Gamma(a)$ – ეილერის გამა-ფუნქცია.

უზრუნველყოფის მნიშვნელობის რამდენადმე მომატება, თეორიული მრუდის მიხედვით, აღინიშნება 2%-მდე და 95%-ზე მეტ საზღვრებში (ნახ. 3.6.19). განმეორადობის მაქსიმუმი შეესაბამება

$$K_h = \frac{h}{\bar{h}} = 0,8 \div 0,9 \text{ მნიშვნელობებს.}$$

სამგანზომილებიანი ტალღის საშუალო სიმაღლის ($\bar{h}_{\text{ბაშ}}$) ფარდობა ორგანზომილებიანი ღელვის ტალღის საშუალო სიმაღლესთან ($\bar{h}_{\text{ორ}}$), მუდმივია და უდრის 1,27. ტალღების სხვადასხვა უზრუნველყოფისას ფარდობა $\bar{h}_{\text{ბაშ}}/\bar{h}_{\text{ორ}}$ შემდეგნაირად იცვლება:

$P\%$	0,1	1,0	5,0	10	20	30	50	70	90
$\bar{h}_{\text{ბაშ}}/\bar{h}_{\text{ორ}}$	1,07	1,10	1,14	1,18	1,20	1,23	1,30	1,42	1,73

ტალღების სიმაღლეთა განაწილება სანაპირო ზონაში განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

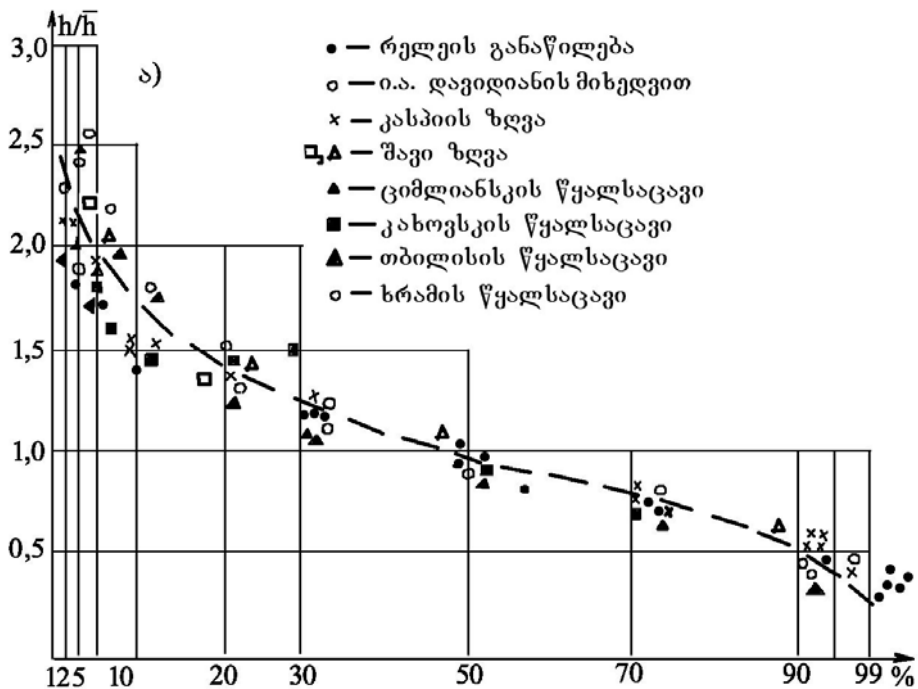
$$F(K_n) = \exp \left[- \frac{\pi}{4 \left(1 + \frac{h_*}{\sqrt{2\pi}} \right)} \left(\frac{h}{\bar{h}} \right)^{\frac{2}{1-h_*}} \right], \quad (3.6.5)$$

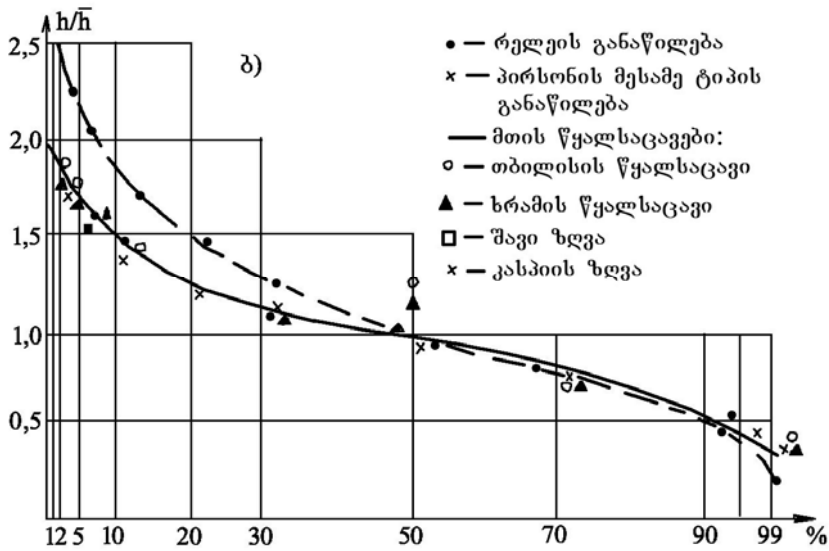
სადაც $h_* = \frac{h}{d}$, ხოლო $d \approx 2h$ (ჩამოქცევის საზღვარზე):

$$F\left(\frac{h}{\bar{h}}\right) = \exp\left[-\frac{\pi}{4,8}\left(\frac{h}{\bar{h}}\right)^4\right]. \quad (3.6.6)$$

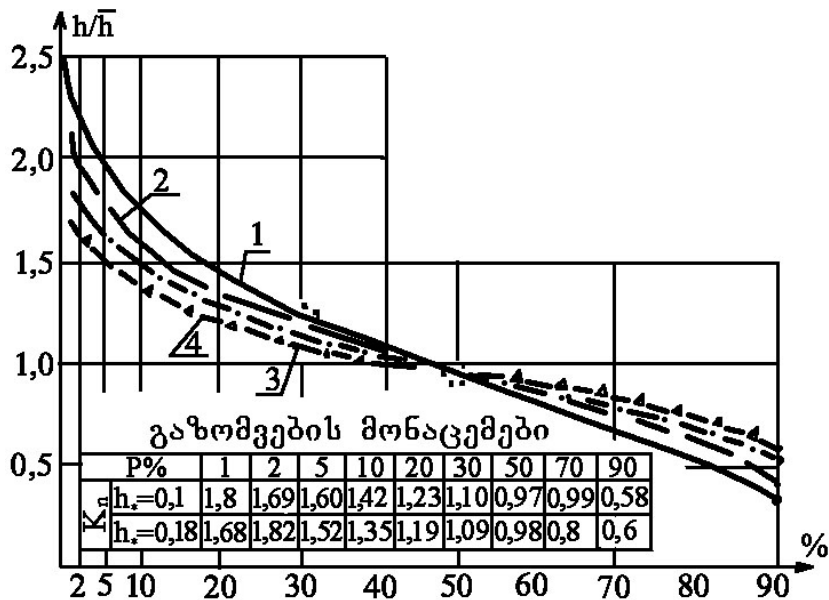
მთის წყალსაცავებზე, წყლის დონის დამუშავებისას, სიღრმის შემცირებისას აღინიშნებოდა ცვლილება ტალღების სიმაღლეთა განაწილებაში, 3-16 მ-ის საზღვრებში. ტალღების ფარდობითი სიმაღლეების მნიშვნელობები, როცა $h = \frac{h_i}{h_d} = 0,03 \div 0,2$, არ ემთხვეოდა განხილულ თეორიულ განაწილებას, მაგრამ საერთო კანონზომიერება არ შეცვლილა (ნახ. 3.6.20).

ტალღების დამრეცობის საშუალო მნიშვნელობები $\left(\frac{\lambda_i}{h_i}\right)$ იგივე უზრუნველყოფის ტალღების ფარდობითი სიმაღლეების საშუალო მნიშვნელობების იდენტურია (ნახ. 3.6.21). დამრეცობის საზღვრები უფრო ფართოა $\left(\frac{\lambda_i}{h_i} = 2 \div 40\right)$, ვიდრე მთის წყალსაცავებზე დაკვირვებისას $\left(\frac{\lambda_i}{h_i} = 6 \div 20\right)$.



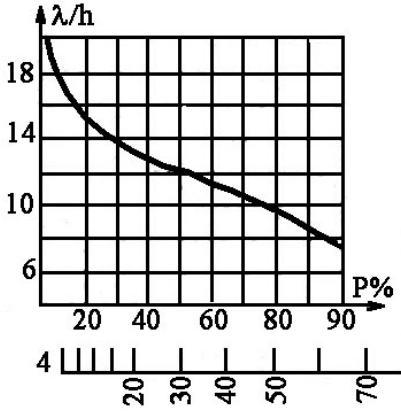


ნახ. 3.6.19. ტალღების ფარდობითი სიმაღლეების თეორიული განაწილება და მათი შედარება საქართველოს მთის წყალსაცავებზე დაკვირვებების მონაცემებთან



ნახ. 3.6.20. ტალღების ფარდობითი სიმაღლის განაწილების ცვლილება ფარდობითი სიღრმის ცვლილებისას.

აღნიშვნები: — რელეის თეორიული განაწილება; (1) $h^* = 0,1$; $h^* = 0,5$;
 (2) $h^* = 0,2$; - - - განაწილება მთის წყალსაცავებზე დაკვირვებების მონაცემებით; (3) $h^* = 0,05$; $h^* = 0,1$; (4) $\Delta h^* = 0,18$; $h^* = h/d$.

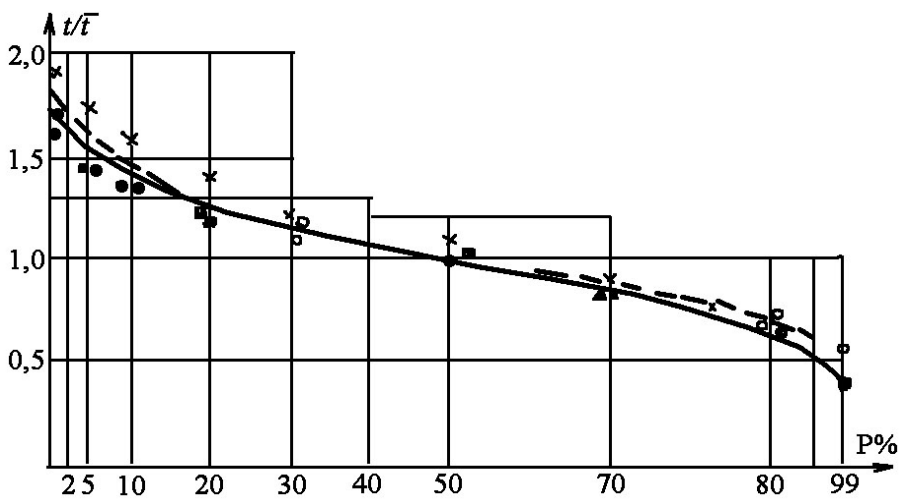


ნახ. 3.6.21. მთის წყალსაცავებზე ტალღების დამრეცობის უზრუნველყოფის გასაშუალებელი ემპირიული მრუდი

სხვაობა ტალღების სიმაღლეებს შორის ნაპირის სხვადასხვა უბნებზე აღწევდა 30-40%-ს.

ტალღების პერიოდის უზრუნველყოფა მთის წყალსაცავებზე საკმაოდ კარგად ემთხვევა ვაკის წყალსაცავების მონაცემებს. ეს დამთხვევა შეიძლება თეორიული განაწილების მონაცემებთან შედარებისას (ნახ. 3.6.22).

მთის წყალსაცავებზე ტალღების წარმოქმნა რთულდება გაქანების მცირე სიგრძეებისა და სანაპირო ზოლის დასერილობის შედეგად, რაც ქმნის ადგილობრივ შეზღუდვებს. ეს მდგომარეობა განსაზღვრავს მკვეთრ განსხვავებას ტალღების პარამეტრებში წყალსაცავის პერიმეტრზე ფერდის ექსპოზიციის შემცირებისა და სწრაფი ჩაღრმავების გამო. დაკვირვებების მონაცემებით რიგ წყალსაცავებზე



ნახ. 3.6.22. ტალღების ფარდობითი პერიოდის განაწილება აღნიშვნები: ● - დაკვირვებები კახოვსკის წყალსაცავზე; ▲ - დაკვირვებები ზღვაზე (ГОИИ); × - დაკვირვებები ზღვაზე (Корнеева, 1969); --- - ლ.ფ. ტიტოვის (1969) მონაცემებით; —●— - დაკვირვებები თბილისისა და ხრამის წყალსაცავებზე; ■ - ბ.ხ. გლუხოვსკის მონაცემებით (1968).

მთის წყალსაცავების წყალმარჩხ ზონაში ტალღების ელემენტების პროგნოსტიკური გაანგარიშებები გართულებულია. მთის წყალსაცავების წყალმარჩხ ზონაში ღრმა წყლიდან ტალღების გამოსვლისას მათი ელემენტები ტრანსფორმაციას განიცდის და ზვირთცემის ზონაში მთლიანად იცვლის სახეს. დაკვირვებების მონაცემებით, სიღრმეების (d) გავლენა თავს იჩენს $d < 0,6\lambda_d$ -ს დროს, რომლებიც მთის წყალსაცავების უმეტესობაში შემოსაზღვრულია ხუთმეტრიანი იზობატიით (ცხრ. 3.6.4).

ცხრილი 3.6.4

საქართველოს მთიანი ზონების წყალსაცავების წყალმარჩხობის ძირითადი მაჩვენებლები

№	წყალსაცავი	სარკის ფართობი ნმდ-ზე, კმ ²	წყალმარჩხობის ფართობი 2 მეტრიანი იზობატის ნმდ-ზე, კმ ²	წყალმარჩხობის ფართობი 3 მეტრიანი იზობატის ნმდ-ზე, კმ ²	წყალმარჩხობის ფართობი, როდესაც სიღრმე $d \leq 0,6\lambda_{max}$ ნმდ-ზე, კმ ²
			წყალმარჩხობის % საერთო ფართობიდან	წყალმარჩხობის % საერთო ფართობიდან	წყალმარჩხობის % საერთო ფართობიდან
1	2	3	4	5	6
1	სრამის ($h_{max} = 1,7$ მ, $\lambda_{max} = 12$ მ)	34,0	$\frac{2,96}{9,0\%}$	$\frac{3,4}{10\%}$	$\frac{6,0}{20\%}$
2	თბილისის ($h_{max} = 1,0$ მ, $\lambda_{max} = 7$ მ)	4,8	$\frac{0,72}{5,0\%}$	$\frac{0,80}{6,0\%}$	$\frac{1,5}{10\%}$
3	სიონის ($h_{max} = 1,4$ მ, $\lambda_{max} = 10$ მ)	10,4	$\frac{0,5}{3,0\%}$	$\frac{0,6}{4,0\%}$	$\frac{1,0}{6,0\%}$
4	ჟინვალის ($h_{max} = 1,4$ მ, $\lambda_{max} = 10$ მ)	11,5	$\frac{0,68}{0,4\%}$	$\frac{1,00}{0,6\%}$	$\frac{0,2}{0,8\%}$

მთის წყალსაცავების წყალმარჩხ ზონაში ტალღის ტრანსფორმაციის საველე კვლევებმა გვიჩვენა, რომ ტალღის გადაადგილებისას ზევით, ფერდისაკენ, მისი სიმაღლე იზრდება, კრიტიკული სიღრმის მიღწევისას – ტალღის ქიმი პირქვაფდება და ტალღა იმსხვრევა.

ტალღის სიმაღლის ზრდა აიხსნება ფსკერთან ხახუნის გავლენის გაძლიერებით, ტალღის ენერჯის დაკარგვით წყალმარჩხ ზონაში,

რეფრაქციით, ნაპირის გასწვრივი და ცირკულაციური დინებებით, ქარის ძალის, ტალღის საწყისი მიმართულების გავლენით, დიფრაქციით, ტალღების არეკვლით და ა.შ.

მთის წყალსაცავების ციცაბო ფერდების პირობებში ტალღის სიმაღლის ზრდის ერთ-ერთ მთავარ მიზეზად უნდა ჩაითვალოს ფსკერის რელიეფის გავლენა და ტრანსფორმირებული ნაკადის სისქის შემცირება ტალღის აგორებისას ზევით, ფერდისაკენ.

სამგანზომილებიანი დელტის მისი ეკვივალენტური ორგანზომილებიანი დელტის ტალღის ელემენტების ურთიერთკავშირი ხორციელდება K_h და K_λ საანგარიშო კოეფიციენტების მეშვეობით (ცხრ. 3.6.5).

ცხრილი 3.6.5

K_h და K_λ კოეფიციენტების მნიშვნელობა

უზრუნველყოფა, %	0,1	1	2	5	10	20	30	40	50	70
K_h	0,83	0,71	0,69	0,63	0,59	0,53	0,52	0,48	0,43	0,39
K_λ	1,04	0,88	0,84	0,76	0,71	0,60	0,58	0,54	0,49	0,40

მთის წყალსაცავების წყალმარჩხ ზონაში, ციცაბო ფერდებზე, ტალღის ელემენტების ტრანსფორმაციაზე ძირითადად მოქმედებს შემდეგი ეფექტები: ტალღის არეკვლა ფერდიდან, დიფრაქცია და რეფრაქცია.

– ტალღების არეკვლა ფერდიდან იწყებს გამოვლინებას $m \leq 4,7$ დახრილობისას. სრული არეკვლა განისაზღვრება მუნკ-ვიმბუმის კრიტერიუმით, სტოკსის მეორე მიახლოების გათვალისწინებით:

$$\text{tg } \alpha_{cr} \geq \sqrt{2\pi^2 \frac{h_d}{\lambda_d} (1 + \chi h_d)}, \quad (3.6.7)$$

სადაც კრიტერიუმი $\chi = f(t, h_d)$.

– ტალღების რეფრაქცია ყველაზე უფრო მკვეთრად გამოვლინდება ტრანსფორმაციის ზონაში და შემდეგ – ჩამოქცევის ზონაში და ზვირთცემის ზონაში.

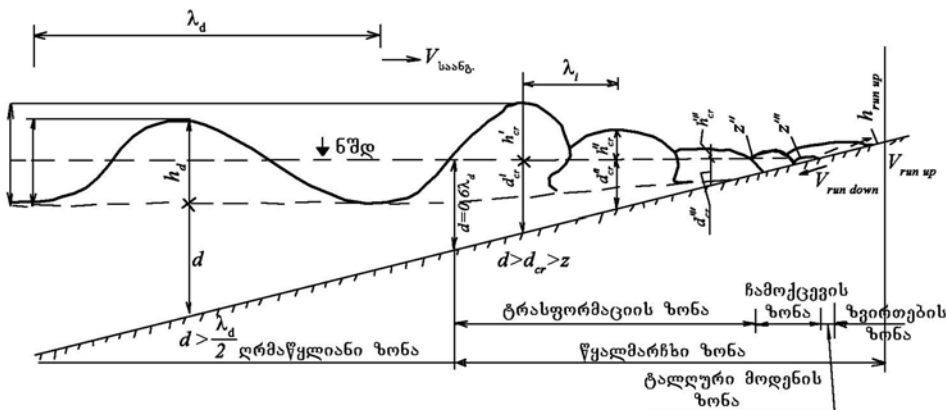
ტალღების ელემენტების გადაანგარიშება ტრანსფორმაციის ზონაში ხორციელდება K_S კოეფიციენტის მეშვეობით, რომლის მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილში 3.6.6.

ცხრილი 3.6.6

K_S კოეფიციენტის მნიშვნელობები

α_0	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
K_S	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,94	0,90	0,84	0,79	0,71

მთის წყალსაცავების ციცაბო ფერდები განაპირობებს წყალმარხ-ხობის სიღრმის მკვეთრ ზრდას, რაც ქმნის განსაკუთრებულ პირობებს ტალღური პროცესების განვითარებისათვის 4 ზონის მიხედვით (ნახ. 3.6.23).



ნახ. 3.6.23. ტალღების ფორმირების ზონები

- პირველი ზონა (ტალღების ტრანსფორმაციის ზონა) – განლაგებულია $0,6\lambda_d > d_i > d_{cr}$ სიღრმეებს შორის. ეს არის სტატიკური დატვირთვების მოქმედების ზონა;

- მეორე ზონა (ტალღების ჩამოქცევის ზონა) – განლაგებულია $d_{cr} \geq d_i = \Delta_{max}$, ეს არის დინამიკური დატვირთვების მოქმედების ზონა;

- მესამე ზონა (ტალღური მოდენის ზონა) – განლაგებულია $\Delta_{max} = d_i \geq h_{ტალ.}^{set}$ სიღრმეებს შორის;

- მეოთხე ზონა (ზვირთების) – განლაგებულია $h_{run\ up} \geq d_i > h_{ტალ.}^{set}$ სიღრმეებს შორის. ამასთან, მთის წყალსაცავებში წყლის დონის მნიშვნელოვანი ცვალებადობის გამო, საზღვარი ზონათა შორის იცვლება ფერდზე წყალსატევში წყლის დონის ცვლილების მიხედვით.

ფერდის დახრილობის ($\alpha < 6^\circ$) ტრანსფორმაციის ზონაში ტალღის სიმაღლე იზრდება ტალღის დამრეცობის (h/λ) ზრდასთან ერთად.

ჩამოქცევის ზონაში ტალღები კრიტიკულ მდგომარეობაშია. ფერდის ქანობის ზრდა ყველაზე უფრო ძლიერ ვლინდება ზვირთების ზონაში.

ფერდის ხორკლიანობა და ფორიანობა ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორია, რაც გააუარესებს ახდენს ტალღების ელემენტების ცვლილებაზე წყალმარხის ზონაში.

ტრანსფორმაციის ზონაში ხორკლიანი ფერდი ხელს უწყობს

ტალღის დამრეცობის და სიმაღლის ზრდას, ასევე მისი მდგრადობის შემცირებას. ჩამოქცევის ზონაში ტალღის ქიმი ჩამოიქცევა.

ამ ზონებში ფსკერის ხორკლიანობის გავლენა ფასდება შეფარდებით $K_{\text{ხორკ.}}^1 = \frac{h_{\text{ხორკ.}}}{h_{\text{გლუვი}}}$, რომლის მნიშვნელობები იზრდება სიღრმის შემცირებით და ფერდის ხორკლიანობის ელემენტების აბსოლუტური ზომების გაზრდით.

ზვირთცემის ზონაში ზვირთცემის ტალღა შეიძლება მთლიანად ჩაქრეს და მიიღოს მოსრიალე ნაკადის სახე. ტალღის სიმაღლის ჩაქრობა ხდება ფერდზე, როდესაც $\text{tg } \alpha \leq 10^{-3} \sqrt{2/3d_{\text{საშ.}}}$, სადაც $d_{\text{საშ.}}$ – ხორკლიანობის ელემენტების საშუალო დიამეტრია. ხორკლიანობის ელემენტები, ახდენს რა „დამუხრუჭების“ ეფექტს ზვირთცემის ნაკადზე, იწვევს ტალღების აგორების სიჩქარის და ფერდზე აგორების სიმაღლის შემცირებას, ამასთან, ტალღური მოდენა მაქსიმალურია.

ამ ზონაში ხორკლიანობის გავლენა ფასდება ხორკლიანობის კოეფიციენტით (ტალღების აგორების სიმაღლეთა ფარდობა ხორკლიან და გლუვ ფერდებზე) $K_r = \frac{(h_{\text{run up}})_{\text{ხორკლ.}}}{(h_{\text{run up}})_{\text{გლუვი}}}$.

ამრიგად, მთის პირობების წყალსაცავებში, სხვადასხვა ზონაში ტალღების ელემენტების პროგნოზირებისას გასათვალისწინებელი ფაქტორების სიუხვე განაპირობებს გამოთვლების სირთულეს.

3.7. დატბორვის, შეტბორვისა და ფილტრაციის პროცესები მთის წყალსაცავებზე

ტერიტორიების დატბორვის ზონა თავსდება მდინარეში წყლის წყალმცირე დონიდან წყალსაცავის ნ.შ.დ. ნიშნულამდე.

წლის განმავლობაში, მთის რეგიონის პირობებში, მუდმივი დატბორვა მნიშვნელოვან საზღვრებში იცვლება (ცხრ. 3.7.1) და ნ.შ.დ.-ს ნიშნულზე სტაბილიზირდება წელიწადში არა უმეტეს 30-60 დღისა. მთის რეგიონებში დატბორვის შედეგად მიწების დანაკარგი მნიშვნელოვნად ნაკლებია, ვიდრე ვაკის რეგიონებში. თუ ვაკის წყალსატევებში 1 კმ² ფართობის ტერიტორიის დატბორვისას საშუალოდ აკუმულირდება 4 მლ.მ³-მდე მდინარის ჩამონადენი, მთის რეგიონებში ეს მაჩვენებელი 45 მლნ.მ³-მდე აღწევს (ცხრ. 3.7.1).

მიწის რესურსების დატბორვა მთის წყალსაცავების შექმნისას

№	წყალსაცავი	ადგილმდებარეობა (რაიონი)	მდინარე	სრული მოცულობა, $V_{სრ}$, მლნ.მ ³	დატბორვის ფართობი, მ.შ.ს/ს საგარეულები, $S/S_{დატბ.}$ (კმ ²)	წყალმარხობის ფართობი, $F_{წყალმ.}$ კმ ²	დატბორვა			წყალშემკრების ფართობის დატბორვის % კაშხლის კვეთში
							1 მლნ.მ ³ მოცულობის შესაქმნელად, $V_{სრ}/S_{დატბ.}$ (მლნ.მ ³ /კმ ²)	1 კმ ² საგარეულების მოსარწყავად, $S_{მოსარწყ./S_{დატბ.}}$	1 მლნ.კმ ² სუბსტრუქტის გამოქმნის უზრუნველსაყოფად, $W_{გამ.}/S_{დატბ.}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
აღმოსავლეთ საქართველოს წყალსაცავები, (მდ. მტკვრის აუზი)										
1	ჟინვალის	დუშეთის	არაგვი	520,0	11,60/5,20	0,08	44,82	32,85	43,10	0,75
2	სიონის	თიანეთის	იორი	325,0	11,40/3,90	0,05	28,47	46,84	9,21	3,73
3	ხრამის	წალკის	ხრამი	312,0	34,0/25,0	2,896	9,18	0,048	6,38	3,23
4	თბილისის	ქ. თბილისი	იორი	308,0	12,50/-	0,66	24,64	12,00	-	-
5	დაღის მთის	დედოფლის-წყაროს	იორი	140,0	15,01/-	0,05	9,33	4,00	-	0,70
6	აღგეთის	თეთრიწყაროს	აღგეთი	65,0	2,50	0,06	26,00	58,00	-	0,77
7	ჯანდარის	გარდაბნის	გარდაბნის მ.ა.	52,0	12,50	2,70	4,16	6,00	-	-
8	პატარა ლიახვის	ცხინვალის	ლიახვი	40,0	1,40	0,20	28,57	150,00	-	0,52

ცხრილი 3.7.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
9	წყალსაცავები 40÷10 მლნ.მ ³	3 წყალსაცავი	მდ. მტკვრის აუზი	32,0	4,65	–	6,88	39,78	4,44	–
10	წყალსაცავე- ბი 10÷1 მლნ.მ ³	16 წყალსაცავი	მდ. მტკვრის აუზი	47,86	11,61	–	4,12	1,72	–	–
11	წყალსაცავე- ბი <1 მლნ.მ ³	19 წყალსაცავი	მდ. მტკვრის აუზი	2,21	11,38	–	1,60	1,16	–	–
სულ მდ. მტკვრის აუზი (აღმოსავლეთ საქართველო)				1834,07	118,54/34,1	7,21	საშ. 14,47	საშ. 14,94	საშ. 8,63	საშ. 0,354
დასავლეთ საქართველო										
1	ჯვრის	წალენჯიხის	ენგური	1090,0	13,50/1,46	0,16	80,74	–	309,63	0,425
2	გაღის	გაღის	ენგური, ერის-წყალი	145,0	8,0/–	0,10	18,13	–	117,50	0,045
სულ მდ. ენგურის აუზი				1235,5	21,50/1,46	0,26	50,35	–	238,14	0,52
3	შაორის	ამბროლაურის	შარაულა	90,0	13,20/–	1,00	6,89	–	9,09	10,50
4	ტყიბულის	ჩხარის	ტყიბული	84,0	11,50/–	1,72	7,30	–	13,13	0,94
5	გუმათის	წყალტუბოს	რიონი	39,0	1,40/–	0,04	16,25	–	67,92	0,065
6	წყალსაცავე- ბი <40 მლნ.მ ³	3 წყალსაცავი	რიონი	41,10	6,77/–	0,76	6,07	0,33	176,96	–
სულ მდ. რიონის აუზი				254,10	32,87	3,52	საშ. 7,73	საშ. 0,33	საშ. 49,65	საშ. 0,00007
სულ დასავლეთ საქართველოში				1489,0	54,37/72,92	3,78	საშ. 27,39	–	საშ. 124,99	საშ. 0,166
სულ საქართველოში				3323,1	172,9/37,0	10,99	საშ. 19,12	საშ. 19,22	საშ. 16,87	საშ. 0,248

გრუნტის წყლების შეტბორვის ფორმირება განისაზღვრება ჰიდროგეოლოგიური პირობების ცვლილებით. გრუნტის წყლების რეჟიმში ცვლილებები განისაზღვრება მათი კვებისა და ჩამონადენის სხვაობით ბუნებრივ პირობებში წყალსაცავის შექმნის შემდეგაც. წყალგამტარი ჰორიზონტების კვება წყალსაცავის შექმნის შემდეგ ხორციელდება ატმოსფერული ნალექების ინფილტრაციით და ინფილტრაციით წყალსაცავიდან, რომლებიც ფორმირდება წყალსაცავის ავსებისას და ექსპლუატაციის საწყის პერიოდში.

მიწისქვეშა წყლების შეტბორვის შეფასებისას აუცილებელია მათი კვებისა და ჩამონადენის პირობების განსაზღვრა ბუნებრივ პირობებში და წყალსაცავის ექსპლუატაციაში შესვლის შემდეგ; ასევე აუცილებელია რეგიონის კლიმატური დახასიათება. ამ ასპექტში, წყალსაცავში წყლის დონის მერყეობა არსებით გავლენას ახდენს წყალგამტარი ჰორიზონტების დონეებზე და საერთო პროცესის დინამიკაზე.

წყალსაცავის შექმნისას მდინარეში წყლის შეტბორვის გამო გრუნტის წყლების დონე მატულობს იმ ნიშნულამდე, რომლის დროსაც წყალი შეიძლება ჩაედინოს ისევ წყალსაცავში. ცალკეულ შემთხვევებში, გრუნტის წყლები თავისი დინების მიმართულებას ცვლის სხვა წყალსადინარისაკენ, რომლის დონეც არ შეცვლილა და წყალსაცავში წყლის დონის დაბლაა. მოცემულ სიტუაციაში ხდება წყალსაცავში გრუნტის წყლების არა დრენირება, არამედ შევსება.

გარკვეულ გეოლოგიურ პირობებში გრუნტის წყლების შეტბორვა შეიძლება არ ჩამოყალიბდეს და ამ შემთხვევაში წყალსაცავი არ იწვევს გრუნტის წყლების რეჟიმის ცვლილებებს. ზოგადად, გრუნტის წყლების შეტბორვის ფორმირების სიჩქარე და მოცულობა დამოკიდებულია მთის ქანების მექანიკურ შედგენილობაზე, ფილტრაციულ თვისებებზე, მათი წყლით გაჯერების ხარისხზე, მდინარეში წყლის შეტბორვის სიდიდეზე და წყალსაცავში წყლის დონის რეჟიმზე. გრუნტის წყლების დონის აწევა საკმაოდ ნელი და ცვალებადია. ფორმირების ხანგრძლივობა შეიძლება გრძელდებოდეს რამდენიმე თვიდან რამდენიმე წლამდე, განსაკუთრებით, წყალსაცავში წყლის დონის მნიშვნელოვანი ცვლილებისას. წყლის დონის დამუშავება იწვევს წყალსაცავში გრუნტის წყლების დონის დაწევას, რაც გრძელდება მანამ, სანამ არ დაიწყება წყლის ახალი აწევა წყალსაცავში. ამავე დროს, მთის წყალსაცავებში წყლის დონის მნიშვნელოვანი სიჩქარით გადაადგილების გამო, გრუნტის წყლების დონის ცვლილება ჩამორჩება წყალსაცავის წყლის დონის გადაადგილებას, რაც იწვევს მიმდებარე ტერიტორიების გაწვდოვანებას. გრუნტის წყლების შეტბორვის ზონის სიგანე შეიძლება შეიცვალოს რამდენიმე ათეული კილომეტრის ფარგლებში. მიწისქვეშა წყლების დონის ყოველწლიური მერყეობა

დაკავშირებულია წყალსაცავში წყლის დონესთან, რაც განაპირობებს სტაციონარული შეტბორვის დაქვეითებას და მისი ფორმირების პერიოდის გაგრძელებას.

მიწისქვეშა წყლების შეტბორვის უდიდესი სიმაღლე აღინიშნება წყალსაცავის კაშხალთან და თანდათან მცირდება მის სათავესთან. ასევე თანდათან ვიწროვდება შეტბორვის გაგრძელების ზონა.

გაანგარიშებების ჩასატარებლად საჭიროა წყალსაცავში წყლის დონის ცვლილების გავლენის განსაზღვრა წყალსაცავის მიმდებარე ტერიტორიის წყლის რეჟიმზე.

გრუნტის წყლების შეტბორვის სიჩქარე და მისი მოცულობა დამოკიდებულია ქანების ფილტრაციულ თვისებებზე, მათი წყლით გაჯერების ხარისხზე, მდინარეში წყლის შეტბორვის სიმაღლეზე და წყალსაცავის წყლის დონის რეჟიმზე. გრუნტის წყლების დონის აწევის სიჩქარე და მისი გაგრძელების სიდიდე, ძირითადად, განისაზღვრება გეოლოგიური სიტუაციით.

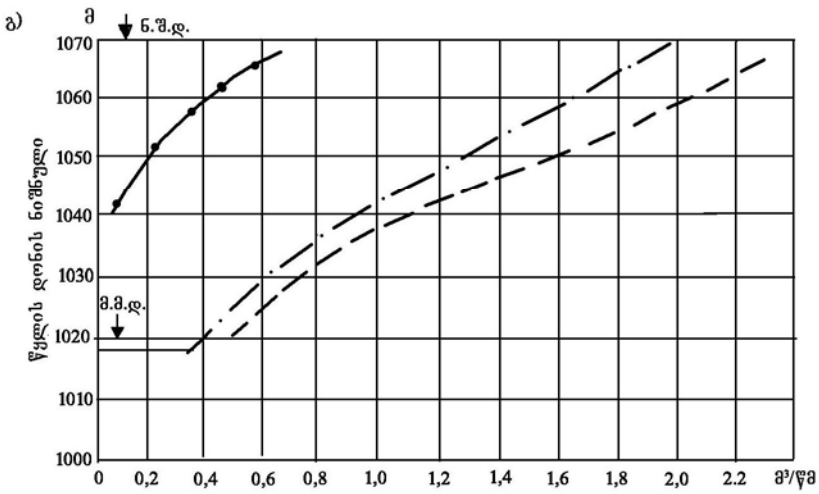
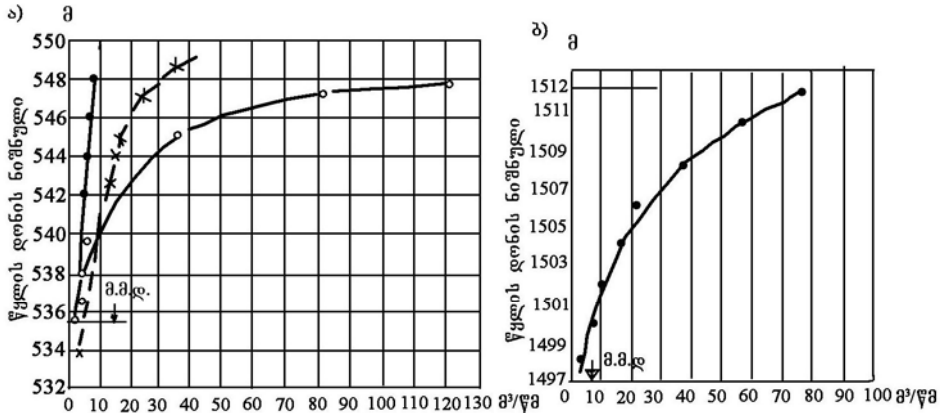
ფილტრაცია მთის წყალსაცავებიდან დამოკიდებულია გეოლოგიურ პირობებზე და წყალსაცავის წყლის დონის რეჟიმის მახასიათებლებზე. დაკვირვებების თანახმად, წყალსაცავში წყლის დონის მნიშვნელოვანი მერყეობისას ფილტრაციის განვითარება დაუმყარებელი ხასიათისაა და შეიძლება გაგრძელდეს რამდენიმე ათეული კილომეტრის მანძილზე.

ფილტრაციის კოეფიციენტის ($K_{ფ}$) დროს წყალსაცავის ავსებისას, ფილტრაციული ხარჯი შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ფორმულით:

$$q_{ფ} = q_0 + 2h_0 K_{ფ} \bar{V} \sqrt{tma} , \quad (3.7.1)$$

სადაც h_0 – გრუნტის წყლების საწყისი დონეა; m – გრუნტის ფენის სიმძლავრის საშუალო მნიშვნელობა; $a = K_{ფ} m / \mu$; μ – წყლის გაცემის კოეფიციენტი; $K_{ფ}$ – ფილტრაციის კოეფიციენტი; t – დრო.

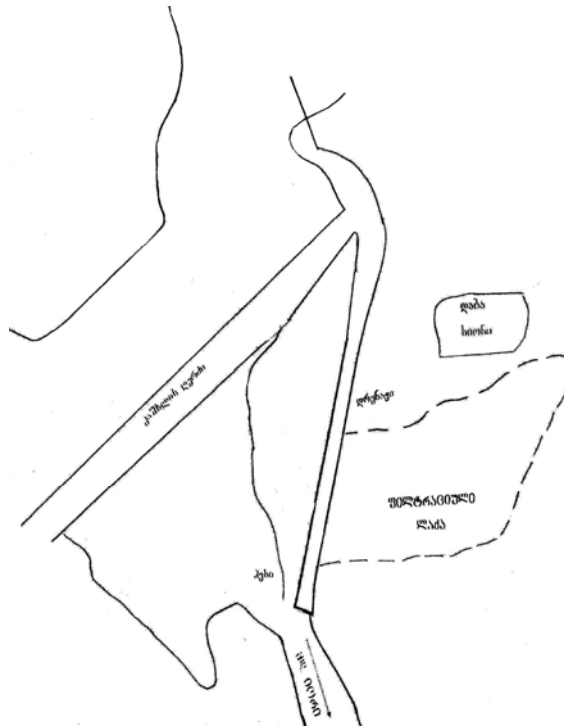
დაკვირვებების მონაცემების თანახმად, საქართველოს მთელ რიგ მთის წყალსაცავებში დადგენილია კავშირი ფილტრაციის ხარჯსა და წყალსაცავში წყლის დონეს შორის (ნახ. 3.7.1). ამ დროს მიწისქვეშა წყლები თაბაშირიანი ქანების ბზარების გავლისას მდიდრდება მარილებით, რაც განაპირობებს სანაპირო ფერდობების დეფორმაციის ზრდას. ასეთი ტიპის მოვლენა შეიმჩნეოდა ხრამის, თბილისის, სიონისა და სხვა წყალსაცავებზე. თბილისის წყალსაცავზე ფილტრაციული ნაკადებით მარილების გამოტანამ გამოიწვია ორი ბეტონის კაშხლის დეფორმაცია, რამაც განაპირობა ნაგებობების საძირკველში ქანების ცემენტაციის აუცილებლობა და სანაპირო ფერდობის გამაგრება ქვის კონტრბანკეტით.



ნახ. 3.7.1. ფილტრაციაზე წყლის დანაკარგების დამოკიდებულება წყალსაცავის დონეზე

- ა) თბილისის წყალსაცავი: ——— ექსპლუატაციაში შესვლიდან 2 წლის შემდეგ; X – ექსპლუატაციაში შესვლიდან 15 წლის შემდეგ; O – ანათვლების წერტილები ცემენტაციის შემდეგ;
- ბ) ხრამის წყალსაცავი: • – ანათვლების წერტილები;
- გ) სიონის წყალსაცავი: ——— ფილტრაცია კაშხალში; —●— სხვა წლიური დანაკარგები; - - - - - საერთო დანაკარგები ფილტრაციაზე.

სიონის წყალსაცავზე ფილტრაციამ წყალგამტარ ლინზებში გამოიწვია ჰესის დასახლებაში არსებული რიგი ნაგებობების დაჭაობება და შეტბორვა, ხოლო ფილტრატით გრუნტის წყლების შეტბორვამ პროვოცირება გაუკეთა მეწყერების განვითარებას მდ. იორის ხეობის მარცხენა ფერდობზე (ნახ. 3.7.2).



ნახ. 3.7.2. ფილტრაციული ლაქა სონის კაშხალთან

გრუნტის წყლების შეტბორვის გავრცელების საზღვრები ერთი და იგივე წყალსაცავის სხვადასხვა უბანზე განსხვავებულია და დამოკიდებულია ადგილობრივ ბუნებრივ პირობებზე და რეგულირების პრიზმის სიმაღლეზე. გრუნტის წყლების შეტბორვის შედეგები შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი.

მიწების შეტბორვის საკითხები, საკმაოდ დიდი ხანია, იჭყრობს მკვლევარების ყურადღებას. დაკვირვებების მონაცემებით დადგენილია, რომ შეტბორვის პროცესები დამოკიდებულია ადგილობრივ რელიეფზე. ზოგადად, შეიძლება გამოიყოს:

- სრული შეტბორვის მასივები;
- იზოლირებულად შეტბორილი მონაკვეთები, დაუკავშირებელი საერთო პირობებთან;
- მცირეკონტურული შეტბორვა ჭალების მონაკვეთებზე.

წყალსაცავიდან დაშორებით და რელიეფის ამაღლებით შეტბორვა მცირდება. ამ ასპექტში, მთის წყალსაცავებში ეს პროცესი ნაკლებად მნიშვნელოვანია. ძირითადად, წარმოიქმნება ცვალებადი შეტბორვის ზონები, უშუალოდ დაკავშირებული წყალსაცავში წყლის დონის მერყეობასთან. ამასთანავე, დრენირებად გრუნტებში შეტბორვის

დონის ნიშნულები დროში თან სდევს წყალსაცავში წყლის დონის ცვლილებას. ვითარება რთულდება თიხნარ მონაკვეთებზე, რადგან ამ შემთხვევაში შეიმჩნევა ნიადაგ-გრუნტების დაღობვა ჰაერის გამოძევებით და წყლის აწევა კაპილარებში 2-3 მ სიმაღლეზე. წყლის დონის აწევა (შეტბორვა) შეიძლება გამოვლინდეს წყალსაცავიდან მნიშვნელოვანი დაშორებით, გრუნტის ნაკადის დონის აწევის გამო.

რელიეფის გავლენა შეიმჩნევა სანაპიროს მორფოლოგიის სახით (ნაპირის სიმაღლე და დახრილობა, ფერდობის ფორმა და ა.შ.). მაღალ და დამრეც სანაპირო ფერდობებზე შეტბორვა არ ვრცელდება, რაც დასტურდება საქართველოს მთის წყალსაცავებზე ჩატარებული დაკვირვებების მონაცემებით.

მთის რეგიონების შეტბორვის ზონაში ბუნებრივი კომპლექსების ცვლილება შეიმჩნევა წყალსაცავის სარკის ახლოს და ტერიტორიის ნიშნულების აწევასთან ერთად. სანაპიროს სიღრმეში შეტბორილი მდინარის წყლები ნელა ვრცელდება და ამიტომ შეტბორვის შედეგები – ჭარბი დატენიანება, დაჭაობება, დამარილიანება – შეიძლება გამოვლინდეს რამდენიმე ათწლეულის შემდეგ.

შეტბორვის პროცესების განვითარების ხელშემწყობი ძირითადი ფაქტორებია:

- სანაპირო ზონაში ჰაერის მომატებული ტენიანობა, რაც ვრცელდება 2-3 კმ მანძილზე;
- მიმდებარე ტერიტორიიდან წვიმის წყლების ჩამონადენი;
- ნიადაგ-გრუნტების კაპილარებით ტენის აწევა;
- ტერიტორიის დაბალი ნიშნულები, რაც განაპირობებს ტენის შეკავებას.

მთისწინეთის და მთიანი რეგიონების წყლის დონის მკვეთრად ცვალებად წყალსაცავებზე შეტბორვა ვითარდება სანაპირო ტერიტორიების ზედაპირულ ნაწილებში შეუქცევადი ცვლილებებით.

შეტბორვის პროცესის სხვადასხვა ინტენსივობა განისაზღვრება გრუნტის წყლების დონის მდებარეობით. შეიძლება გამოიყოს:

- ძლიერ შეტბორილი ზონები, გრუნტის წყლების დონე 1 მ სიღრმეზეა;
- ზომიერი შეტბორვის ზონები, გრუნტის წყლების დონე 1÷2 მ სიღრმეზეა;
- სუსტი შეტბორვის ზონები, გრუნტის წყლების დონე 2÷3 მ სიღრმეზეა;
- შეუტბორავი მონაკვეთები, რომლებიც აგებულია სუსტად შეღწევადი დანალექებით (მძიმე თიხნარი, თიხა) წყალსაცავის ნ.შ.დ.-დან ტერიტორიის 3-4 მ-ით ზევით.

ტერიტორიის სივრცე, რომელზეც ვრცელდება გრუნტის წყლების შეტბორვა დამოკიდებულია შეტბორვის სიმაღლეზე, წყალსაცავის წყლის დონის შევსებისა და დამუშავების რეჟიმზე, სანაპიროს ქანების მორფოლოგიაზე და მექანიკურ შედგენილობაზე, მისი განლაგების ხასიათზე, გრუნტების ფილტრაციულ თვისებებზე და სხვა ფაქტორებზე.

ზოგადად, შეტბორვის პროცესის განვითარების განმსაზღვრელ საწყის მასალას წარმოადგენს:

- შეტბორილი გრუნტის წყლების საპროექტო-პროგნოზული რეჟიმი იმ უბნებისათვის, რომლებიც მდებარეობს 2-3 მეტრით მაღლა წყალსაცავის ნ.შ.დ. დონეზე;
- ტერიტორიის ნიადაგ-გრუნტების მახასიათებლები უბნებისათვის, რომლებიც მდებარეობს 2-3 მეტრით მაღლა წყალსაცავის ნ.შ.დ. დონეზე.

აღნიშნული მითითებები შეიძლება განისაზღვროს კარტოგრაფული მასალის გამოყენებით. საველე გამოკვლევები აუცილებელია სრული შეტბორვის მასივების დეტალიზაციისათვის.

წყალსაცავიდან წყლის დანაკარგი შეიძლება განისაზღვროს, როგორც დაბრუნებული და დაუბრუნებელი (ცხრ. 3.7.2).

ცხრილი 3.7.2

წყალსაცავიდან ფილტრაციაზე წყლის დანაკარგების საანგარიშო მნიშვნელობები

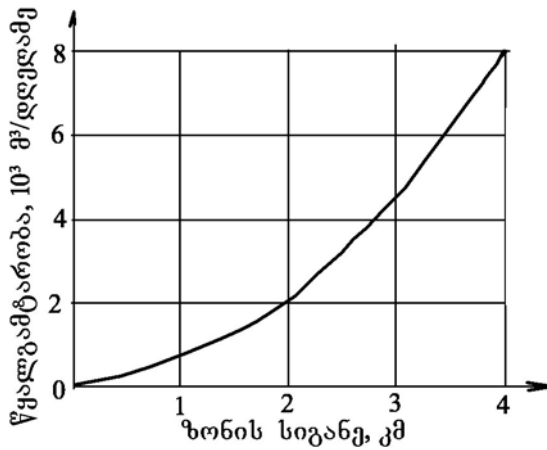
№	წყალსაცავი	დაწნევა, მ	დანაკარგი ფილტრაციაზე, მ ³ /წმ
1	ხრამის (წალკის) ხრამქვს I	25	0,8-3,75 2,1
2	ჯვრის (ენგურჰესი)	230	2,0
3	სიონის (სიონჰესი)	68	2,0
4	თბილისის	45	0,12

მთისა და მთისწინა რეგიონებში გრუნტის ფენის წყალგამტარობისა და გრუნტის წყლების დონის დამოკიდებულება ზონის სიგანის რხევასთან გამოიხატება პარაბოლით (ნახ. 3.7.3).

მთის წყალსაცავებზე ფილტრაციის პროცესის ძირითადი შედეგებია:

- წყალსაცავების გავსებისას ფილტრაციას დაუმყარებელი ხასიათი აქვს და სტაბილიზაციის პროცესი ხანდახან გრძელდება 10-20 წელი;
- წყალსაცავის ექსპლუატაციის პერიოდში ავსებისა და დონის დამუშავების დროს, ნ.შ.დ.-ს და მ.მ.დ.-ს ნიშნულებს შორის

ფილტრაციული დანაკარგები ნიშანცვლადი ხდება, რაც განაპირობებს ფილტრაციისა და შეტბორვის პროცესების მართვის საშუალებას.



ნახ. 3.7.3. გრუნტის წყლის დონის ცვალებადობა ქანების წყალგამტარობასთან

წყალსაცავში ჩადინებული გრუნტის წყლების მოცულობა ($V_{\text{ფ}}$) შეიძლება გამოითვალოს შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$V_{\text{ფ}} = \sum_{k=1}^n l_{\text{ფ}} h_{\text{ს.ა.}} L_{\text{ფ}} \mu, \quad (3.7.2)$$

სადაც $l_{\text{ფ}}$ არის ფილტრაციის ზონის სიგრძე წყალსაცავში წყლის ნორმალურ დონემდე; $h_{\text{ს.ა.}}$ – გრუნტის წყლების დონის საშუალო ცვლილება წყალსაცავში წყლის დონის მერყეობისას ნ.შ.ჰ.მ. დონის დამუშავების საზღვრებში; $L_{\text{ფ}}$ – წყალსაცავის მახასიათებელი უბნის სიგრძე ($\sum L_{\text{ფ}} = P$ – წყალსაცავის პერიმეტრი); μ – გრუნტის აქტიური ფორიანობა (წყლის გაცემის კოეფიციენტი ან არასაკმარისი გაჯერება), საშუალო გამოსაკვლევი უბნის საზღვრებში; n – უბნების რაოდენობა.

საქართველოს რიგი წყალსაცავების ფილტრაციული ხარჯის ($Q_{\text{ფ}}$), ფილტრაციის მოცულობის ($V_{\text{ფ}}$) და დამატებითი ელექტროენერჯის გამოიმუშავების შედეგებმა განსაზღვრა განხილული პარამეტრების ცვლილებების ფართო დიაპაზონი. მაგალითად, ხრამქვის წყალსაცავისათვის: $Q_{\text{ფ}} = 0,8 \div 3,76$ მ³/წმ; $V_{\text{ფ}} = 66$ მლნ.მ³; $V_{\text{ს.ა.}} = 290$ მლნ.მ³; $V_{\text{ფ}}/V_{\text{ს.ა.}} = 22,7\%$; $E = 60$ მლნ.კვტსთ და $E_{\text{ს.ა.}} = 17\%$ ($V_{\text{ს.ა.}}$ – წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობა, $E_{\text{ს.ა.}}$ – ენერჯის საშუალო მრავალწლიური გამოიმუშავება).

3.8. მთის წყალსაცავების ზემოქმედება კაშხლების მტყუნებაზე

კაშხლების დაზიანება, ავარია და კატასტროფა მათი ფუნქციონირების დარღვევის სხვადასხვა სახეობაა. კერძოდ: **დაზიანება** და ავარია კაშხლის ისეთი მდგომარეობაა, რომლის აღდგენის შემდეგ მას შეუძლია ნორმალური ფუნქციონირება. **კატასტროფა** – კაშხლის ისეთი დაზიანებაა, რომლის შემდეგ იგი აღარ ფუნქციონირებს და იწვევს ადამიანების მსხვერპლს.

მსოფლიოს 422 კაშხლის წყობიდან გამოსვლის მიზეზების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ეს პროცესები გრძელდება, პრობლემა ჯერ გადაუჭრელია.

კაშხლების დაზიანების კომიტეტის მონაცემებით, მსოფლიოს 35 ქვეყნის 1150 კაშხლიდან დაზიანებულია: ბეტონის კაშხლების 21%, ქვის წყობის კაშხლების 14%, მიწის კაშხლების 36%. ავარიების ყველაზე დიდი რაოდენობა მოდის მიწის კაშხლებზე, სადაც საშიშროებას უმეტესად წარმოადგენს სუფოზური პროცესები და კაშხალზე წყლის გადაღინება.

მსოფლიოში 190 000-მდე მსხვილი და მცირე კაშხალია, მათ შორის: აშშ-ში – 6575 მსხვილი კაშხალი, ინდოეთში – 429, იაპონიაში – 2675, ესპანეთში – 1196, კანადაში – 793, სამხრეთ კორეაში – 765, თურქეთში – 625, ბრაზილიაში – 594, საფრანგეთში – 568, რუსეთში – 236. ავარიების კომიტეტის საერთაშორისო კომისიის მონაცემებით, ყოველწლიურად 3000-მდე კაშხალი ზიანდება. რამდენიმე ასეული კაშხლის ავარიების ანალიზის საფუძველზე დადგინდა მათი დაზიანებების მიზეზების რანჟირება (ცხრ. 3.8.1):

- ფილტრაციის, სუფოზიის, წყლის აგრესიულობისა და კავიტაციის გამო მოხდა ავარიების 31%;
- კაშხლის თხემზე გადაღინების გამო – 18%;
- გარეცხვის, გამორეცხვის, ეროზიის, მეწყრების, ჯდენის, ბზარებისა და კავერნების გამო – 17%;
- კაშხლის დაპროექტებისა და ექსპლუატაციის დროს დაშვებული შეცდომების გამო – 15%;
- მიწისძვრით, კაშხლის შეესება-დაცლით გამოწვეული სეისმური მოვლენების გამო – 9%;
- წყალდიდობის, კოკისპირული წვიმების გამო – 5%;
- კაშხლის გაღლობისა და გაყინვის, ტემპერატურის მნიშვნელოვანი ცვალებადობის გამო – 4%;
- ტალღური დატვირთვის გამო – 1%.

კაშხლების დაზიანების, ავარიისა და კატასტროფის მიზეზების ანალიზი

№	მდინარის, შტატის, ქალაქის, კაშხლის დასახელება	ქვეყანა	კაშხლის სიმაღლე, მ	წელი			ავარიის მიზეზი*)									16	17	18
				1954	1974	მ	8	9	10	11	12	13	14	15				
1	აგარაკ	სომხეთი		1954	1974	მ			+							+		
2	აგარო	იტალია		1940		მ						+					+	
3	აგერი	გფრ		1929		მ					+						+	
4	აგაუკა	აშშ			1892					+							+	
5	აგეილი	აშშ	17.0	1897	1904	ქქ											+	
6	ავონი	ავსტრალია	71.6	1927	1927	მ					+						+	
7	აკლომბო	განა			1963	მ				+							+	

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
8	ალამოზა	აშშ				ქ			+								+
9	ალგოდონი	ბრაზილია			2009										4		
10	ალდვადავილი	ესპანეთი		1962		თგ					+						+
11	ალექსანდერი	ჰავაის კუნძულები	42.0	1932	1932	მ					+				6		
12	ალომედინი	რუსეთი	30.0	1959	1959	ქე					+						
13	ალცევი	გურ		1911	1931	მ								+	+		
14	ამლი	აშშ		1921	1923	მ								+			
15	ანაკონდა	აშშ	22.0	1892		მ								+			
16	ანდერსონი	კოლუმბია	13.4		1902	ქ					+				+		
17	აპალაჩა	აშშ		1957	1972	მ			+						120		
18	აპრილუი	ბულგარეთი				მ					+						+
19	არკანზანი	ინგლისი				მ			+						+		
20	არმანდო	ბრაზილია	35.0			ქ			+								+
21	არტიკი	სომხეთი		1979	1994	მ					+	+		+		+	
22	ასტამოლი	ბულგარეთი		1952	1960	მ					+						+
23	აუსტანი	აშშ	15.2	1909	1911	მ								+	100		
24	აუსტინი	აშშ		1893	1900	ქ					+				8		
25	აშტი	ინდოეთი	17.0		1883	მ								+		+	
26	ბაღდინ-ჰილსი	აშშ	49.0	1951	1963	მ					+				3		
27	ბარბერინე	შვეიცარია		1925	1946		+										+
28	ბარინჯანი	ავსტრალია		1928		მ								+			+
29	ბარტონი	აშშ		1910	1922	მ								+		+	

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
30	ბელომუტი	რუსეთი		1915	1915	მ								+	+		
31	ბენი-ბადელი	ს. აფრიკა		1940	1940	მთ								+	+		
32	ბერგამო	იტალია	43.6		1923	ქ					+				600		
33	ბილი-დესკა	ჩეხეთი	15.0	1915	1916	მ								+	+		
34	ბინმორე	ახალი ზელანდია		1964	1965		+										+
35	ბისინი	იტალია				მ								+			+
36	ბისორტი	ალპები												+			+
37	კ. ბისტროტა	რუსეთი		1955	1956	მ								+	+		
38	ბიულ-კრიკი	აშშ	38.2	1919	1925	ქე				+							+
39	ბლეკ-ბრუკი	ინგლისი			1957	მ	+										+
40	ბლეკ-მაუნტინი	ტაივანი	56.0	1930		მ		+									+
41	ბლერტაუნი	აშშ			1888	მ				+							+
42	ბლუ-უოტერი	აშშ	11.0	1908	1909	ქ					+						+
43	ბოლდუინი	აშშ	40.0	1951	1963	მ					+						5
44	ბოლტენი	აშშ		1938		მ					+						+
45	ბონევილი	აშშ		1937	1947						+						+
46	ბონი	აშშ		1950	1972	მ						+	+				+
47	ბონი-ფოლზი	აშშ										+					+
48	ბორეგარი	ალპები	132.0	1958	1963	თ					+						+
49	ბოულდერ-ჰედი	ინგლისი		1965	1966	მ								+			+
50	ბრატსკი	რუსეთი	127.0	1955		მ				+							+
51	ბრედფილდი			1864	1864					+					238	+	

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
52	ბრიანსკი	რუსეთი		1928	1931	მ		+								+	
53	ბრიდლ-დრიფტი	არაბეთი	51.0	1967	1967	ქ				+						+	
54	ბრიჯ-პორტი	აშშ		1855	1905	მ				+	+						+
55	ბრუკლინი	აშშ		1893	1893									+		+	
56	ბუზეი	საფრანგეთი	14.9	1884	1884	ქ					+				90		
57	ბსაკრა	ინდოეთი	225.5	1958	1958	მ								+			+
58	ბხანდარდარი	ინდოეთი		1926	1926	ქ								+			+
59	გაუი	საფრანგეთი		1954		თ					+						+
60	გაუზერდეკი	აშშ		1907	1908	მტლ								+	+		
61	გვარი-ალეკი	აშშ			1912	ბ								+	+		
62	გელ-ჰოლი	აშშ	125.0	1964	1965	ქ		+								+	
63	გეპაჩი	ავსტრია		1964	1966	მ					+						+
64	გლენო	იტალია	52.0		1923	მთ					+			+	600		
65	გნიური	პირინეი		1945		მ			+								+
66	გონდო	შვეიცარია			2000										14		
67	გოსტიცა	ჩეხეთი				მ				+							+
68	გრან-ათტერზეი	აშშ	29.0			თ					+				+		
69	გრანდკული	აშშ		1941	1950	მ			+								+
70	გრანვალი	აშშ		1910	1928	მ					+						+
71	გრანვალი	საფრანგეთი	80.0			მთ					+						+
72	გრეთ-ვესტერნი	აშშ	15.0		1958	მ			+								+
73	გრინევი	ჩეხეთი	50.0	1965	1966	მ											+
74	გრინლიკი	აშშ	18.0	1901	1904	მ										+	

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
75	გრობუა	საფრანგეთი		1838	1839	ქ								+		+	
76	გრუზკრიკი	აშშ	7.0	1903	1916	მ				+						+	
77	გუაღე	იტალია		1943	1958	მ					+						+
78	გუაუტემოკი	მექსიკა		1950	1950	მ					+						+
79	გუდუაროცი	ინდოეთი			1979	მ									15000		
80	გუგერი	აშშ			1935	მ									+		
81	გურღედანი	საფრანგეთი			1930	მ								+			+
82	დაღის მთა	საქართველო	38.0	1984	1994	მ		+		+							+
83	დაღტონი	აშშ	9.0		1891	მ								+			+
84	დებრის ბარიერი	აშშ			1904	მ				+							+
85	დეესი	აშშ	19.2	1919	1973	მ		+		+	+			+			+
86	დეილ-დაკი	ინგლისი	10.0		1854	მ					+				250		
87	დეღს ხატვილდი	აშშ		1910	1911	მ				+							+
88	დენვილისი	აშშ	16.0	1910	1930	ბ					+				+		
89	დეოსა	ინდოეთი		1962	1967	ქ		+									+
90	დერფენდერი	გურ	16.0	1914		ბ			+						+		
91	დიზაბია ფორბ	აშშ		1903	1932	მ								+			+
92	დიქსრივერი	აშშ		1925	1926	ქ											+
93	დიმიტროვი	ბულგარეთი				მ								+			+
94	დოღგორუკი	რუსეთი		1911	1926	მ					+						+
95	დრაიკანიონი	აშშ		1912	1952	ქ											+
96	დრაიკრიკი	აშშ	14.0	1938	1939	მ								+			+
97	დუნკანი	კანადა		1967	1968	მ					+						+

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
98	კ. დუნაიზე	რუმინეთი			1965	მ		+								+	
99	ეიდუანადი	ჩ. უელსი		1925										+	+		
100	ელ-ინფელნილიო	მექსიკა		1963	1963	მ			+								+
101	ელ-კობრე	ჩილე		1950	1965	მ	+								200		
102	კ. ელ-კობრე	ჩილე		1965		მ	+								200		
103	ელკ-სიტი	აშშ	9.0	1925	1936	მ				+						+	
104	ელ-საბრა	ალჟირი	33.6	1871	1927	ქმ		+									
105	ენგლიში	აშშ		1883		მ											+
106	ერაგენი	საფრანგეთი	86.0			თ			+								+
107	ერაკუმე	ალჟირი				თ			+					+			+
108	ესკონდილო	აშშ		1895		ქ				+							+
109	ეტრუა			1935				+		+				+			+
110	ეუკლიდეს სინგსი	ბრაზილია	53.0	1958	1977	ქ		+		+						+	
111	ვაიონტი	იტალია	261.6	1956	1963	თ				+		+			2600	+	+
112	ვაკო	აშშ		1930	1946	ბ		+								+	
113	ვალმარი	კანადა			1952	მ				+						+	
114	ვალტერსი	საფრანგეთი		1930	1955	თ			+								+
115	ვასი	ჩეხეთი		1883	1884	მ			+								+
116	ვეისდესე	აშშ		1914	1916	მ								+		+	
117	ველ-ფოურგი	ავსტრალია		1909	1931	მ					+						+
118	ვერმუტი	აშშ		1930		მ						+					+
119	ვესტ-იდესბურგი	აშშ			1916	მ								+	+		
120	ვილიამსბურგი	აშშ		1865	1874	მ								+	143		

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
121	ვირჯინი	აშშ	36.6	1929	1929	ქ				+						+	
122	ვირჯინ-რივერი	აშშ			1924	მ					+					+	
123	ვიქტორი	აშშ			1901	მ				+						+	
124	ვოლუსკაია	რუსეთი		1956	1956	მ						+					+
125	ვოლუსკაია	რუსეთი			1957	მ			+								+
126	ვოლხოვი	რუსეთი			1925	მ					+						+
127	ვრაკა	ბულგარეთი			1966								+		96		
128	ვუდკრესტი	აშშ		1953	1954	მ		+									+
129	ზედა მურაიამა	იაპონია		1922	1926	მ	+										+
130	ზედა ხოველი	აშშ		1878	1906	მ	+										+
131	ზემფიროვი	ბულგარეთი	81.0	1953	1954	მ					+			+			+
132	ზერაეშანი	რუსეთი		1941	1948	ბ			+								+
133	ზერბინო	იტალია	16.5	1924	1935	ქ					+				100		
134	ზღუ-უოტერი	აშშ	27.4	1908	1928	ქ					+						+
135	ზოკოლო	იტალია		1964	1973	მ								+			+
136	ზულოლსი	ნორვეგია	12.4			ქმ					+						+
137	ივასი	აშშ		1940	1951	მ					+						+
138	იზოლა	შვეიცარია		1960	1960	თ					+						+
139	იზურტი	პირინეი												+			+
140	ინგლიში	აშშ	30.5	1876	1933	ბ					+						+
141	ინფერნილუ	მექსიკა		1963	1964	ქ	+										+
142	ირკოვი	ჩეხეთი				ქ					+						+
143	ისლამი	ინდოეთი			1914	ქ					+				+		

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
144	იუბა	აშშ	7.0		1907	მ				+							+
145	იუგუზანი				1954	მ								+			+
146	იუტიე-ბეი	კანადა	6.0		1912	მ											+
147	კალვარასი	აშშ	72.0			მ					+						+
148	კამარკენის	სომხეთი		1977	2009	მ			+	+	+			+	5		+
149	კამირი რავატკ	რუსეთი		1940	1953	ბ			+								+
150	კანიკირი	რუსეთი			1937									+			+
151	კასლული	აშშ	21.0	1890	1933	ქ	+			+							+
152	კაუსხემოკი	მექსიკა		1950	1950	მ				+							+
153	კაშხალი	ესპანეთი	120.0		1963	თ	+										+
154	კაშხალი	აშშ			1966	თ								+		+	
155	კაშხალი	იუგოსლავია		1959	1959	თ								+			+
156	კაშხალი	პოლონეთი		1938	1938	ბ								+			+
157	კაშხალი	პოლონეთი				მ			+								+
158	კაშხალი	აშშ			1968	თ								+		+	
159	კაშხალი №1	აშშ		1929	1970	თ			+								+
160	კაშხალი №2	აშშ		1928	1969	თ			+								+
161	კაშხალი №3	აშშ		1934	1955	ბ			+								+
162	კაშხალი №4	აშშ		1918		ქ								+			+
163	კაცურასავა	იაპონია									+						+
164	კედარნალა	ინდოეთი		1964	1964	მ		+						+			+
165	კელსტევეული	აშშ	21.3	1890	1933	ქმ				+							+
166	კიზენაუ დებეზე			1919	1921									+	+		

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
167	კილინგზუერი	აშშ	5.0		1938	მ				+						+	
168	კიუდოვი	გფრ		1929	1930	მ								+	+		
169	კოგსვილი	აშშ		1933	1934	ქ			+								+
170	კოიპა	ინდოეთი	103.0		1967	ბბ											+
171	ზ. კოლაროვი	ბულგარეთი	48.0	1950	1960	ქ								+		+	
172	კოლენა	ბულგარეთი		1966	1966	მ								+			+
173	კოლორადო	აშშ			1900			+								+	
174	კოლუმბუსი	აშშ	11.9		1902	მ				+							+
175	კონმოუსოკენი	აშშ			1973	მ								+		+	
176	კონოიამა	იაპონია		1924	1959	ქ											+
177	კოსტილა	აშშ	38.0	1920	1941	მ								+		+	
178	კოუდტი	უელსი		1910	1925	მ				+	+				16	+	
179	კოულსპრინგი	აშშ	15.0		1912	მ								+			+
180	კრასნოიარსკი	რუსეთი			1963	მ			+								+
181	კრედიტ რივერ	კანადა	15.0		1910	მ				+						+	
182	კრემასტა	საბერძნეთი	160.0	1965	1965	ქ	+							+			+
183	კროტონი					ქ							+				+
184	კრუტინსკაია	რუსეთი		1954	1957	მ								+			+
185	კრუტსვილდენშტი	საფრანგეთი		1964	1964	მ								+			+
186	კუად-ფოდა	ალჟირი		1931	1933		+									+	
187	კულიჯი	აშშ		1928										+			+
188	კურობე	იაპონია	186.0	1960	1969		+										+
189	კურჩატსკაია	რუსეთი			1930						+					+	

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
190	კხვადაკვასლა	ინდოეთი	32.5	1870	1961					+						+	
191	კ. ლაბეზე	ჩეხეთი		1916										+		+	
192	ლაკი პიკი								+								+
193	ლაუერ-ოტეი	აშშ	39.6	1897	1916	ქე				+						+	
194	ლაფაეტი	აშშ	42.0	1928	1928	მ					+						+
195	ლა ფრუტა	აშშ	18.0	1930	1930	მ								+			+
196	ლებნენი	აშშ	6.0	1882		მ				+						+	
197	ლებხენი	აშშ	12.0		1893	მ								+		+	
198	ლეიკავალონი	აშშ	14.7	1890	1893	ქმ				+							
199	ლეიკავოლოკი	აშშ		1890	1893	ქ								+	+		
200	ლეიკი	აშშ	16.0		1893	ქ				+						+	
201	ლეიკი დიკსი	აშშ			1940	მ				+						+	
202	ლეიკ ტოკსუეი	აშშ	19.0	1902	1916	მ								+		+	
203	ლეიკ ფრენსისი	აშშ	23.5	1899	1899	მ					+						+
204	ლეიკ ჯორჯი	აშშ			1914	მ								+		+	
205	ლეობარდორი	მექსიკა		1949	1949	მ					+						+
206	ლეროუქს კრიკი	აშშ	8.0		1905	მ				+						+	
207	ლე-შერვა	ალჟირი	22.0	1885	1885	მ				+	+					+	
208	ლიბი	აშშ	112.0			მ			+							+	
209	ლონგოულდზი	აშშ	9.0		1922	მ								+		+	
210	ლონგ ტომი	აშშ	15.0	1906	1915	მ								+		+	
211	ლოსენი	შვედეთი				მ								+			+
212	ლოუერ ორეი	აშშ	39.0	1897	1917	ქ				+					3		

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
213	ლუის სმიტი	აშშ		1958	1958	ქ				+						+	
214	ლული	შვედეთი		1920	1940	თ										+	
215	ლუჟესკაია	რუსეთი		1955	1956	მ			+							+	
216	მაგავა	იაპონია		1930	1965	ქ						3					+
217	მად ლეიკი	აშშ					+										+
218	მაიჯიქ	აშშ	39.0	1910	1911	მ								+		+	
219	მაიტ ლეიკ	აშშ		1937	1938	მ				+						+	
220	მაიხი სიტი	აშშ			1892	მ								+		+	
221	მალოკაბარდისკაია	რუსეთი			1936	ბ			+								+
222	მალპასე	საფრანგეთი	61.0	1954	1959	თ									42		
223	მამტი	აშშ	21.0	1912	1917	მ				+						+	
224	მანგლა	პაკისტანი		1967	1967		+									+	
225	მარიკელ ლეიკ	აშშ	21.0	1908	1909	მ								+		+	
226	მარმარიკი	სომხეთი	64.0	1967	1974	მ			+							+	
227	მარტე გომესი	მექსიკა		1940	1940	მ			+								+
228	მარტინი	მექსიკა		1946	1946	მ	+										+
229	მარტინდევი	აშშ			1940	მ				+						+	
230	მარუიამა	იაპონია		1930	1950	ქ						+					+
231	მარშალ კრიკი	აშშ	27.4		1937						+					+	
232	მასტეროსი	აშშ	18.0	1950	1951	მ								+		+	
233	მატატე	იაპონია		1929	1964	ქ						+					+
234	მატახილი	აფრიკა		1931	1931	მ								+			+
235	მატილია	აშშ		1949		თ								+			+

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
236	მატ მარკი	შვედეთი			1965				+								+
237	მაჩხუ II	ინდოეთი			1979										2000		
238	მეი	თურქეთი		1959	1960	მ								+			+
239	მეკინენსი	ესპანეთი	77.4			მ								+	+		
240	მელვილი	აშშ	11.0	1907	1909	მ								+		+	
241	მელზინგასი	აშშ	7.0		1897	მ				+					7	+	
242	მენტროგი	ინგლისი		1920	1928	თ					+						+
243	მერსერი	აშშ	13.5			მ								+		+	
244	მიგუელი ალ.	მექსიკა		1949	1949	მ					+						+
245	მილდფილდი	აშშ	6.0		1901	მ				+							+
246	მილ პონტი	აშშ	5.0	1873	1886	ქ								+		+	
247	მილ რივერი	აშშ	13.0	1865	1874	მ								+	144		
248	მიტაკი	იაპონია		1936	1971	ქ						+					+
249	მოგიე	გფრ	40.0	1913	1943	ქ								+			+
250	მოგოლზინი	რუსეთი	11.0	1936	1937	ქყ				+							+
251	მოლარე	იტალია	47.5			მ			+								+
252	მონრეალი	კანადა	5.0		1896	ქ								+			+
253	მონტა	ფინეთი				მ								+			+
254	მონტე ინარი	საფრანგეთი	130.0	1962	1963		+										+
255	მოროსკო	იტალია	50.0	1939	1965	მ			+					+			+
256	მოუნტ პ.	აშშ		1910	1928	მ	+										+
257	მოურიხა	აშშ	50.0	1912		ქ				+							+
258	მოუხოკი	აშშ	5.0	1913	1915	მ								+		+	

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
259	მოჰამედ ალი	კომრა			1837									+	+		
260	მოჰეგან პ.	აშშ		1853		ქ								+	+		
261	მულუნგაში	აფრიკა		1923	1925	ქ								+			+
262	მურაიამა	იაპონია		1927	1931	მ	+										+
263	ნებრასკა	აშშ	5.0	1890	1890	მ								+		+	
264	ნეზაკსა	მექსიკა	57.0	1908	1909	მ						+				+	
265	ნიზა ჰესი	რუსეთი				მ			+							+	
266	ნიუ დენვერი	აშშ	18.5			მ			+								+
267	ნოვილო	ნორვეგია		1964	1964	მ								+			+
268	ნომელანდი	ნორვეგია		1917		მ								+		+	
269	ნორიკი	აშშ		1936	1937	მ								+			+
270	ნორფირკი	აშშ			1946									+		+	
271	ნოტელი	აშშ		1942		ქ			+								+
272	ნოქსვილი	აშშ			1883	მ								+		+	
273	ოახი	აშშ	80.0	1962	1966	მ			+								+
274	ობეცნიშე	ჩეხეთი		1968	1969	მ								+			+
275	ოედ კებირი	ტუნისი		1928	1929	მ			+								+
276	ოლხოვი	რუსეთი		1930	1931	მ					+						+
277	ონბარა	იაპონია		1928	1948	ქ						+					+
278	ონო	იაპონია		1912	1972	მ	+										+
279	ოროსი	ბრაზილია	54.0		1960	ქ				+					1000		
280	კ. ოსტინში	აშშ	18.3	1894	1900	ქ			+							+	
281	პადიმა	საბერძნეთი		1954	1956	ბ			+							+	

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
282	პაკონიმა	აშშ				თ	+									+	
283	პარდო	არგენტინა	15.0	1940	1940	ქ	+								25		
284	პარკერი	აშშ		1938	1940	თ						+				+	
285	პიკ ბრუკი	აშშ	10.0		1928	მ				+						+	
286	პიტ-7	აშშ		1965	1968	ქ			+						+		
287	პლასტბურგი	აშშ			1912	ბ								+	+		
288	პოემონტი	აშშ		1905	1924	მ	+										+
289	პოინტ როკსი	აშშ	26.2	1911	1915	მ					+						+
290	პონტები	ალჟირი			1954	მ	+										+
291	პონშეტი	ინდოეთი	56.6	1961	1961	მ		+							+		
292	პორტ-ანჟელი	აშშ			1912	ბ								+	+		
293	პორტლანდი	აშშ		1956	1956	მ			+						+		
294	პორტიჯო მაუნსია	კანადა		1967	1968	ქ			+								+
295	პრატს-ფორკი	აშშ		1934	1938	მ				+							+
296	პრერი რივერ	აშშ			1912	მ				+							+
297	პუენტესი	ესპანეთი	50.0	1791	1802	მ								+	680		+
298	ჟანესვილი	აშშ			1912	ბ								+	+		
299	ჟიროტი	საფრანგეთი		1933		თ					+						+
300	ჟორტე	კალედონია				ქჟ				+							+
301	რაუნდიბოტი	აშშ		1964		მ			+								+
302	რექტორ კრიკი	აშშ		1947	1947	მ			+								+
303	რელიეფი	აშშ	43.3	1910		ქ			+								+
304	რენკონ დე ბაიგორია	ურუგვაი		1959	1960	მ		+									+

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
305	რესტინგი	თურქეთი		1959	1968	მ								+			+
306	რიბადელაგო	ესპანეთი	33.5		1959	ქ			+						140		
307	რიკსბროუ	აშშ		1894	1894	მ								+		+	
308	რიონის კაშხ.	საქართველო	5.0	1952	1982	რბ			+								
309	რუ, ხუაი	ჩინეთი			1975	მ									200000		
310	საიანო-შუშენსკაია	რუსეთი	245.0	1961	2009	ბ					+				23		
311	საიტაკორვა	ფინეთი				მ								+			+
312	სალარნო	იტალია		1928		მ								+			+
313	სამპნა	ინდოეთი		1957	1961	მ			+						4		
314	სამხრეთ საფრანგეთი	საფრანგეთი			1959										500		
315	სან ანდრეასი	აშშ		1870	1906	მ	+										+
316	სან გაბრიელი	აშშ				ქ			+								+
317	სან პაბლო	აშშ	51.8		1971	მ	+										+
318	სანტა როსი	მექსიკა		1963	1963	თ			+								+
319	სან ფერნანდო	აშშ	5.0		1971		+								+		
320	სარი კურგანი	რუსეთი		1947	1948	ბ			+								+
321	სარსვი	საფრანგეთი		1838	1842	მ											+
322	საუთ ჰოლსტონი	აშშ	87.0	1951		მ			+								+
323	სემპორი		54.0			ქ			+						+		
324	სენატორ უომი	აშშ		1865	1866									+			+
325	სენტ-დიუსენი	აფრიკა		1861	1862	მ					+						
326	სენტ-ფრენსისი	აშშ	62.5	1927	1928	მ					+				450		

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
327	სერპონსონი	საფრანგეთი	13.5	1939	1957					+						+	
328	სეფლვეიდი	აშშ	20.0		1914	მ				+							+
329	სეიფტი	აშშ	50.0	1914	1964	ქ				+	+						+
330	სიგი	აფრიკა		1848	1866	ბ		+									+
331	სიკსმილ კრიკი	აშშ			1905	მ				+							+
332	სინკერ კრიკი	აშშ	21.0	1910	1943	მ				+				+			+
333	კ. სირაკუზებთან	აშშ				მ								+			+
334	სიფილდი	აშშ				მ								+			+
335	სკეპუეი	აშშ		1901		ქ					+						+
336	სკინექტიედლი	აშშ	9.0		1916	მ				+							+
337	სკოტდეილი	აშშ	18.0		1904									+			+
338	სკოტს პიკი	აესტრალია				მ								+			+
339	სლანი	ჩეხეთი		1953	1965	მ					+						+
340	სოლტი	აშშ			1916	ბ								+			+
341	სოუტფორსი	აშშ	21.5	1846	1862	მ								+	2500		
342	სპარტანზიერგი	აშშ	3.0		1892	ქ					+						+
343	სტემორაიდი	აშშ	9.0		1909	ქ					+						+
344	სტილჰაუზ პოლოუ	აშშ				მ				+							+
345	სტიუარტ მაუნთეინ	აშშ		1930	1943	ბ								+			+
346	სტრობერი	აშშ	49.7	1916	1918	ქ				+							+
347	სტუდენა	ბულგარეთი		1957	1961	კვ								+			+
348	სუკენობუ	იაპონია		1931	1964	მ						+					+
349	სუნსენი	უელსი	24.0	1867	1879	ქ								+			+

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
350	სუორეა	შვედეთი		1920		თ						+		+			+
351	სუპნუი	ჩინეთი		1943	1955	მ								+			+
352	სურუტრი და კანიონი	აშშ	20.0		1914	მ				+							+
353	ტაგველა	პაკისტანი		1974	1974		+										+
354	ტანკა აშატი	ინდოეთი		1954	1958	მ			+								+
355	ტენანგო	მექსიკა			1973	მ			+								+
356	ტეპლოვსკაია	რუსეთი		1954	1958	მ								+			+
357	ტერე ვეგა	ესპანეთი	34.0	1959	1959						+				144		
358	ტეტონი	აშშ	93.0	1975	1976	ქ					+				11		
359	ტეხასის შტატის	აშშ			1977	მ					+				39		
360	ტირლანდი	რუსეთი	13.0		1998			+									+
361	ტოგია	იტალია		1932		მ					+						+
362	ტოლა	საფრანგეთი		1960	1961	თ			+								+
363	კ. ტოლასეა	აშშ	9.1		1902	მ				+							+
364	ტორონტო	კანადა	11.0		1912	მ				+							+
365	ტრაუთ ლეიკი	აშშ	8.0	1894	1909	მ				+							+
366	ტრესნა			1964	1966	მ			+								+
367	ტროტლი	აშშ	20.0	1912	1942	მ				+							+
368	ტულომისი	რუსეთი			1936	მ			+								+
369	ტურიტა დიგალიკაკო	იტალია			1920		+										+
370	უაიტხორსი	კანადა			1969	მ			+								+

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
371	უანზორიკერი	აშშ			1927	მ				+						+	
372	უატაუგა	აშშ		1948		მ			+								+
373	უეიკო	ინგლისი	29.4		1961	მ			+							+	
374	უელნოდ-გრუპი	აშშ	33.5	1888	1890	ქმ					+				150		
375	უესტ ჯუელსბერგი	აშშ	16.0	1905	1910	მ								+		+	
376	უინსტონი	აშშ	7.0	1902	1912	მ				+						+	
377	უისტერი	აშშ	27.0		1951	მ								+		+	
378	ურიუ I	იაპონია		1943	1955	მ						+					+
379	ურიუ II	იაპონია		1942	1954	მ						+					+
380	ურჩესტერ შტატი	აშშ	20.0	1912	1951	მ								+			
381	უსლნატ გროდვი	აშშ	33.0	1888	1890	ქ				+					150		
382	კ. უტიკა	აშშ	21.0	1874	1902	მ					+					+	
383	ფვერიუ	აშშ	9.0		1922	მ								+		+	
384	ფერგუგი	ალჟირი				ქ		+									
385	ფოლსომი	აშშ			1966	მ	+										+
386	ფონტანა	აშშ		1944	1972	მ						+					+
387	ფორენს ლაიკი	აშშ		1928	1929	თ						+				+	
388	ფორტ გენრი	ირლანდია				მ			+							+	
389	ფორტენალი	აშშ		1964	1965	მ								+			+
390	ფორტ-პაკი	აშშ	69.0		1940	ქ			+						8		
391	ფრაილე	პერუ	72.0	1958	1961	თ	+										+
392	ფრანსისკვიტო	აშშ	63.0			მმ			+						400		
393	ფრეხურ-ვალი	კანადა	4.0		1948	მ				+							+

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
394	ფრიუტ-გროუერსი	აშშ	12.0	1898	1937	მ			+							+	
395	ყირიმი	უკრაინა			1940	ძე				+						+	
396	შარმი	საფრანგეთი		1903	1906	მ								+			+
397	შეისანტაურსკი	რუსეთი		1943	1966	მ	+										
398	შეკ-პიკი	ისლანდია		1963		მ			+							+	
399	შელ-ოილი	აშშ		1945	1947	მ			+								+
400	შელტენი	აშშ			1903	ქ								+		+	
401	შერბურნი	აშშ	10.0	1892	1905	მ				+							+
402	შერი-ვაგეი	აშშ		1956	1956	მ			+								
403	შერფასი	აშშ		1882	1885	მ					+					+	
404	შერფილდი	აშშ	9.0	1917	1925	მ	+										+
405	შეფილდი	ინგლისი			1864	მ				+					238		
406	შორტ-კრიკი	აშშ	17.0		1939	ქ				+						+	
407	ჩერნოვსკაია	რუსეთი		1953	1958	მ							+				+
408	ჩერჩილი	ს. აფრიკა		1943		თ					+						
409	ჩიკამაგუა	აშშ		1940	1943	მ					+			+			+
410	ჩირ-იურტსკაია	რუსეთი		1891	1970	მ											+
411	ცაგერი	საქართველო		1960	1967	ბ											+
412	ციმლიანსკაია	რუსეთი		1952	1952	ქმ			+								+
413	ცინიამი	იაპონია		1928	1959	მ								+			+
414	ცინ-ძიანი	ჩინეთი			2004	მ		+							20		
415	წყნეთი	საქართველო	11.9	1957	1987	მ		+		+					3		+
416	ჭერეში	საქართველო		1960	2010	მ		+			+					+	

ცხრილი 3.8.1 (გაგრძელება)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
417	საბრა	აღჟირი		1871	1872	ქ										+	
418	სოზაბავრა №1	საქართველო	12.5	2005	2005	მ					+					+	
419	სოზაბავრა №2	საქართველო	8.8	2005	2005	მ					+					+	
420	სამარ-ფორსენი	შვედეთი		1943	1958	მ										+	
421	სატსვორი	აშშ		1918	1930	მ	+										+
422	სებგენი	აშშ		1913	1959	მ	+										+
423	სებროკი	აშშ		1913	1914	მ			+								+
424	სელ-ხოული	აშშ			1964	ქმ		+							+		
425	სიატფილდი	აშშ		1908	1911	მ				+							+
426	სიოკირი	ს. კორეა		1965	1965	მ			+						250		
427	სოველი	აშშ		1877	1906	მ	+									+	
428	სონეკ-იკე	იაპონია			1944	თ	+									+	
429	სორზე-კრიკი	აშშ		1912	1914	მ								+	+		
430	სორს-კრიკი	აშშ	17.0	1911	1914	მ								+		+	
431	სოსოროგი	იაპონია		1930	1966	მ	+										+
432	სოუპი	აშშ	7.0	1882	1907	მ								+		+	
433	სუნდერფორსენი	ნორვეგია				თ								+			+
434	სუნონი	ს. კორეა				მ								+			+
435	ჯემლეიკი	აშშ		1922	1924	მთ					+				+		
436	ჯიაკომო	იტალია		1950	1968	მ								+			+
437	ჯინეტი	აშშ			1903	მ				+							+
438	ჯონსტონი	აშშ	28.3	1893	1893	მ				+					2200		

ცხრილში გამოყენებული პირობითი აღნიშვნები: ქ – ქვანაყარი, ქვის, ქვის წყობის; თგ – თაღოვანი გრავიტაციული; თ – თაღოვანი; ბ – ბეტონის; ქმ – ქვის და მიწის; ბბ – ბუტო ბეტონის; კვ – კონტრფორსული; ძყ – ძეგლოვანი.

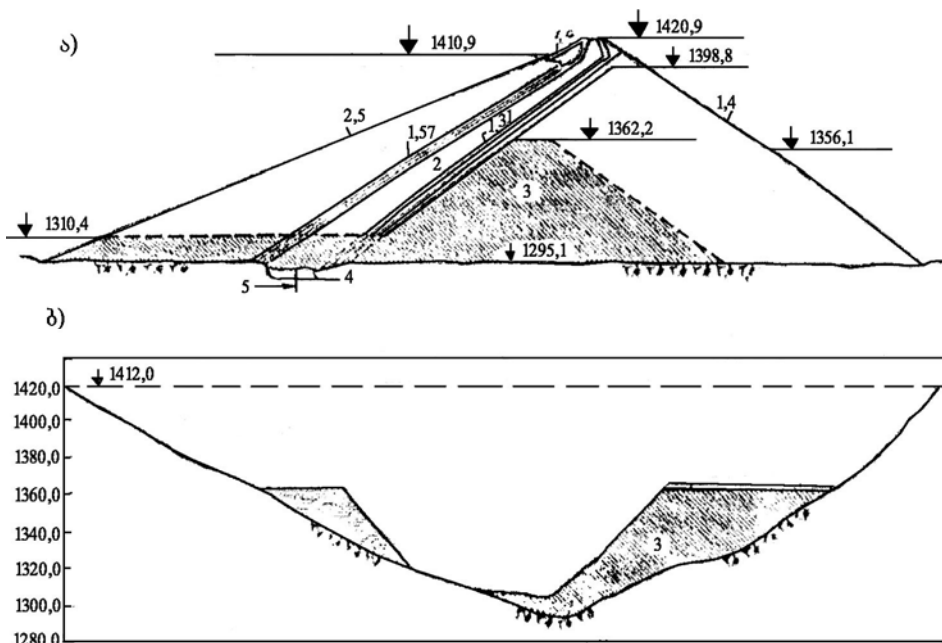
კაშხლების დაზიანებების ანალიზი ჩატარდა კატალოგების, სპეციალური ლიტერატურის, პერიოდული გამოცემების, წიგნების, ინფორმაციული მასალის და საერთაშორისო კონგრესებზე წარდგენილი მოხსენებების გამოყენებით.

მსოფლიოში არსებული კაშხლების დაზიანების მიზეზებს შორის დომინირებს შემდეგი მოვლენები: ფილტრაციული, თხემზე გადადინება, სუფოზური, წყლის აგრესიულობა და კავიტაცია, გარეცხვა, გამორეცხვა, ეროზია, მეწერები, ჯდენა, კავერნები, დაპროექტებისა და ექსპლუატაციის შეცდომები და სხვ. 2200 ადამიანი დაიღუპა ჯონსონის კაშხალზე წყლის გადადინების გამო (აშშ, 1930 წ.); ოროს კაშხლის (ბრაზილია, 1960 წ.) მშენებლობისას მოხდა 35 სმ სისქის წლის ფენის გადადინება თხემზე, რაც საკმარისი აღმოჩნდა, რომ კაშხალი დანგრეულიყო, დაიღუპა 1000 ადამიანი. 2009 წელს რუსეთში, საიანო-შუშენსკაიას ჰესზე კატასტროფის გამო დაიღუპა 23 ადამიანი, მიზეზი – ტურბინის საკეტის ამოვარდნა, რაც გამოიწვია არასწორმა ექსპლუატაციამ ან მეტალისაგან დამზადებული საკეტების „დაღლილობამ“ და მწყობრიდან გამოსვლამ. 1959 წელს საფრანგეთში კაშხლის გარღვევის შედეგად დაიღუპა 500 ადამიანი; 1979 წელს ინდოეთში კაშხლის გარღვევის გამო დაიღუპა 15000 ადამიანი; 1975 წელს ჩინეთში, ტაიფუნ „ნინას“ გამო წარმოქმნილმა გიგანტურმა ტალღამ გაარღვია დამბები, დაიღუპა რამდენიმე ასეული ათასი ადამიანი. ეს კატასტროფა ითვლება ყველაზე დიდად ისტორიული წარღვნის შემდეგ. მთელ მსოფლიოში კატასტროფის მსხვერპლია 600-მდე კაშხალი.

ქვეყრილის კაშხლების ავარიები, როგორც წესი, ექსპლუატაციის ან მშენებლობის პერიოდში თხემზე წყლის გადადინებისას იწვევს კაშხლის გარეცხვას და ცარიელი სივრცის გაჩენას (ნახ. 3.8.1).

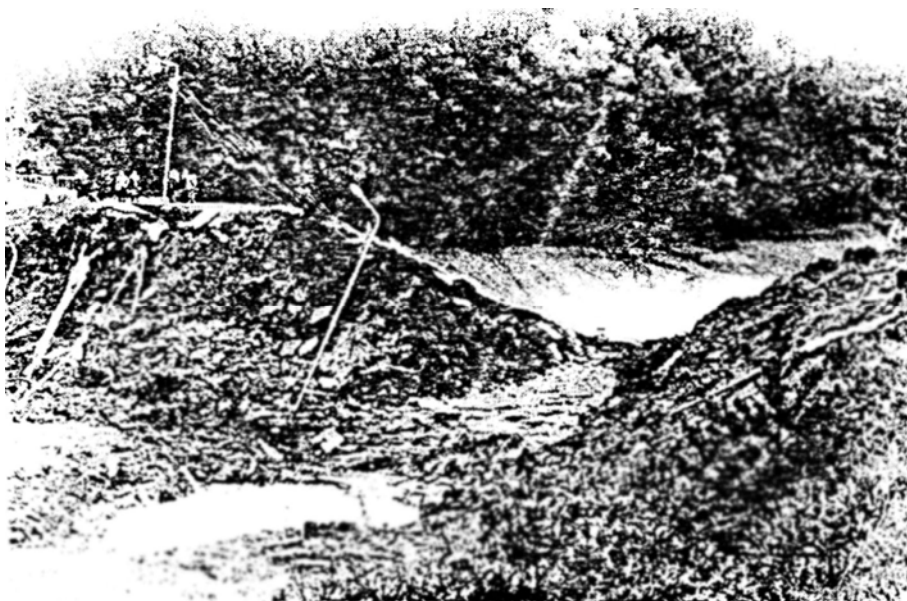
ვაიონტის კაშხლის (იტალია) თხემზე გადადინების გამო დაიღუპა 2600 ადამიანი, მაჩხუს II კაშხლის დაზიანების გამო (1979 წ.) – 2000 ადამიანი.

საქართველოს რიგ წყალსაცავებსა და კაშხლებზე აღინიშნება სხვადასხვა ტიპის დაზიანებები, რომლებიც საჭიროებს სასწრაფო რეაბილიტაციას. ზემოხსენებულ დაზიანებებს შორის – წყლის გადადინება თხემზე – ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მიზეზია. ამის თვალსაჩინო მაგალითია **დაბა წყნეთში** მომხდარი კატასტროფა (14 მაისი, 1980 წ.), როდესაც 12,0 მ სიმაღლის მიწის კაშხალი დაინგრა, რასაც მოჰყვა ადამიანების მსხვერპლი (ნახ. 3.8.2).



ნახ. 3.8.1. ხელ-ხოლის კაშხლის აგარია
თხემზე წყლის გადაღინების გამო

- ა) განივი პროფილი: 1 – ნაყარი; 2 – გრუნტის ეკრანი; 3 – წყალდიდობის
შემდეგ დარჩენილი კაშხლის ნაწილი; 4 – ცემენტაცია;
5 – ცემენტაციური ფარდა.
- ბ) კაშხლის გრძივი პროფილი, შენარჩუნებული წყალდიდობის შემდეგ.



ნახ. 3.8.2. კაშხლის გარღვევა დაბა წყნეთში (1981 წ.)

კატასტროფის მიზეზია კაშხლის მშენებლობისას დაშვებული დეფექტები, კაშხლის გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესუსტება ექსპლუატაციის 30 წლის განმავლობაში, წყალსაცავის შევსების, დაცლისა და მაღალი ინტენსივობის თავსხმა წვიმების გამო გამოწვეული კაშხლის ქვედა ბიეფის გამორეცხვა. ამ ფაქტორმა გამოიწვია ფილტრაციის სიგრძის შემცირება, რამაც წყლის დონის უეცარი აწევის (40-50 სმ-ით) გამო, სულ ერთი საათის განმავლობაში, გაზარდა ფილტრაციის ხარჯი. ჰიდროდინამიკური ზემოქმედების გამო დაიწყო კაშხლის ქვედა ფერდის დაჯდომა, წარმოიშვა ნაპრაღი. შემოკრებილი ფილტრაციის წყლის ჭავლმა გამოიწვია ქვედა ფერდის მდგრადობის შემცირება. ქიმზე წარმოშობილი ნაპრაღი გავრცელდა კაშხლის ტანში, მთელ სიგრძეზე, საიდანაც წყალმა უფრო გააგანიერა და გააღრმავა ნაპრაღი, რის შედეგადაც ჩამოცურდა კაშხლის ქვედა ბიეფის ჯერ მარცხენა ნაწილი, შემდეგ – მარჯვენა.

ხანგრძლივი თავსხმა წვიმების გამო კაშხლის გრუნტი წყალგაჯერებულ მდგომარეობაში იყო (კაშხლის მთელ ტანში წყალგაჯერების კოეფიციენტის მნიშვნელობა შეადგენდა 0,9-1,0-ს), რის გამოც კაშხლის დაძვრის მახასიათებელი შემცირდა.

კაშხლის დატენიანებისა და გამოშრობის გამო მის ტანში ფილტრაცია ხორციელდებოდა გაშიშვლებულ შრესა და კაშხლის დანარჩენ ნაწილს შორის.

დალის მთის კაშხლის თხემზე წყლის გადადინების გამო კაშხალი მწკობრიდან გამოვიდა და წყალსაცავი დღემდე დაცლილია.

სიონის კაშხლის დაზიანების შემთხვევაში შეიძლება წარმოიშვას უმართავი დესტრუქციული პროცესები, რასაც შედეგად შეიძლება ნგრევა და მოსახლეობის მსხვერპლი მოჰყვეს.

კაშხლის ზედა ფერდის მონოლითური რკინა-ბეტონის ფილების სისქე 40-50 სმ-დან შემცირებულია 2-20 სმ-მდე. 2008 წელს კაშხალზე ჩატარდა სარეაბილიტაციო სამუშაოები. კერძოდ, რკინა-ბეტონის ფილები დაიფარა მიკროსილიკის დანამატიანი ცემენტის ხსნარით (ნახ. 3.8.3).

ექსპლუატაციის ჩვეულებრივ პირობებში ქვაყრილის კაშხლებს მდგრადობის კოეფიციენტის საკმაო მარაგი აქვს. ფერდის ქვედა ზედაპირზე განლაგებული ქვების მდგრადობა ირღვევა ნაკადის თუნდაც მცირე სისქის გადაღვრისას თხემზე. იმავდროულად, ქვაყრილის სხეულში წარმოიქმნება ფილტრაციული ნაკადი, რომელიც არამართო აძლიერებს ქვედა ფერდის ზედაპირულ ეროზიას, არამედ ამცირებს მდგრადობას ძვრაზე. უმრავლეს შემთხვევაში რამდენიმე ათეული სანტიმეტრი სისქის ნაკადის გადასხმა თხემზე საკმარისია კაშხლის დაზიანებისა და დანგრევისთვისაც კი.

ა)



ბ)



ნახ. 3.8.3. სიონის წყალსაცავის კაშხლის ზედა ბიეფის საფარი
ა) სარეაბილიტაციო სამუშაოების ჩატარებამდე;
ბ) 2008 წელს ჩატარებული სარეაბილიტაციო სამუშაოების შემდეგ

ამრიგად, ქვაყრილის კაშხლებზე დაუშვებელია წყლის გადაღინება, თუ ეს პროექტით არ არის გათვალისწინებული. ამიტომ ქვაყრილის კაშხლის თხემზე ნაკადის გადაღინება უნდა განიხილებოდეს, როგორც გამონაკლისი. მისი გამოყენება შეიძლება მხოლოდ მცირე

ხარჯის დროს.

ქვედა ფერდოს გასამაგრებლად, ფართო გავრცელება ჰპოვა ლითონის ბადეებმა, რომლებშიც დაანკერებულია ქვაყრილი. ბადე მზადდება 19 მმ დიამეტრის ღეროებისაგან. მისი უჯრედის ზომა ისეთია, რომ ქვამ ვერ შეძლოს ბადიდან გასვლა. ჰორიზონტალური და დამრეცი ღეროები დუღდება ან მაგრდება ჭანჭიკზე ცალულით.

ქვედა ფერდოს გამაგრება ანკერირებული ბადით საკმაოდ მარტივად გადაწყვეტს ქვაყრილის კაშხალში ფილტრაციის წყლის გადინების პრობლემას (ეკრანის ნაწილობრივი შესრულების ან არარსებობის დროს).

კაშხლის მნიშვნელოვანი სიმაღლის და 50 მ³/წმ წყლის ხარჯის დროს (მშენებლობის საწყის სტადიაზე), კლდოვანი საძირკვლის პირობებში, შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს უსტ-ხანტაის კაშხლის გამოცდილება – ძეღყორული კედლის გამოყენება. შესაძლოა აგრეთვე ქვის დამონოლითობა ქვედა ფერდზე (მაგრამ არა მზა ფილები დალაგება), რათა არ წარმოიშვას საწინააღმდეგო ზეწოლა ფილის ქვედა წახნაგზე.

ჰიდროკვანძის მშენებლობისას წყალდიდობის ხარჯების გასაშვებად ქვაყრილის კაშხლის გამოყენების მიზანშეწონილობა უნდა გადაწყდეს ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში და დამოკიდებულია რიგ ფაქტორებზე: წყალდიდობის ხარჯის სიდიდეზე, შესაბამისად, დროებითი წყალგარდნის ზომებზე, ქვის სიმკვრივეზე, მშენებლობის დროზე და ა.შ.

თუ მშენებლობისას წინასწარ არ არის მიღებული ზომები ქვაყრილის საიმედო მუშაობისათვის, უმრავლეს შემთხვევაში, წყალდიდობისას კაშხლის თხემზე ხდება წყლის გადმოდინება.

ძირითადი ღონისძიებები მიწის კაშხლების მდგრადობის უზრუნველსაყოფად შემდეგია:

- შეიცვალოს ნაგებობის ის ნაწილი, რომელიც შედგება ჭარბტენიანი თიხოვანი გრუნტებისაგან (ქვიშნარი, თიხნარი, თიხა) ქვიშიანი დრენაჟებით;
- ჩატარდეს კაშხლის ფერდების დამრეცება თიხოვანი გრუნტების ძვრის წინააღმდეგობის ფაქტორივი მანქანების შესაბამისად;
- აუცილებელია აღდგეს მონიტორინგის ჭაბურღილების ქსელი

- აუცილებელია წყალდამცავი ზონების შექმნა და დაცვა;
- ფილტრაციის საწინააღმდეგო ღონისძიებების ჩატარება (თბილისის, ხრამის კაშხლებთან).

უნდა აღინიშნოს, რომ ბოლო წლებში (2006-2008 წწ.) მსოფლიო ბანკის დახმარებით სიონისა და ალგეთის წყალსაცავების კაშხლებზე, მათთან მიმდებარე დაზიანებულ ტერიტორიებზე და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე ჩატარდა სარეაბილიტაციო სამუშაოები.

თავი 4. მთის წყალსაცავებზე ნეპატიური პროცესების ბანვითარების პრობნოზირების მეთოდები

4.1. მთის წყალსაცავების ნაპირების ფორმირების პრობნოზირება

წყალსაცავების ნაპირების გადამუშავების მრავალფაქტორიანი პროცესები თხოულობს ფართო გამოკვლევების ჩატარებას. კვლევების დაწყების პრიორიტეტი მიეკუთვნება აკადემიკოს ფ. პ. სავარენსკის. ყველა არსებული გამოკვლევა შეიძლება დავეოთ ოთხ ეტაპად (ნახ. 4.1.1):

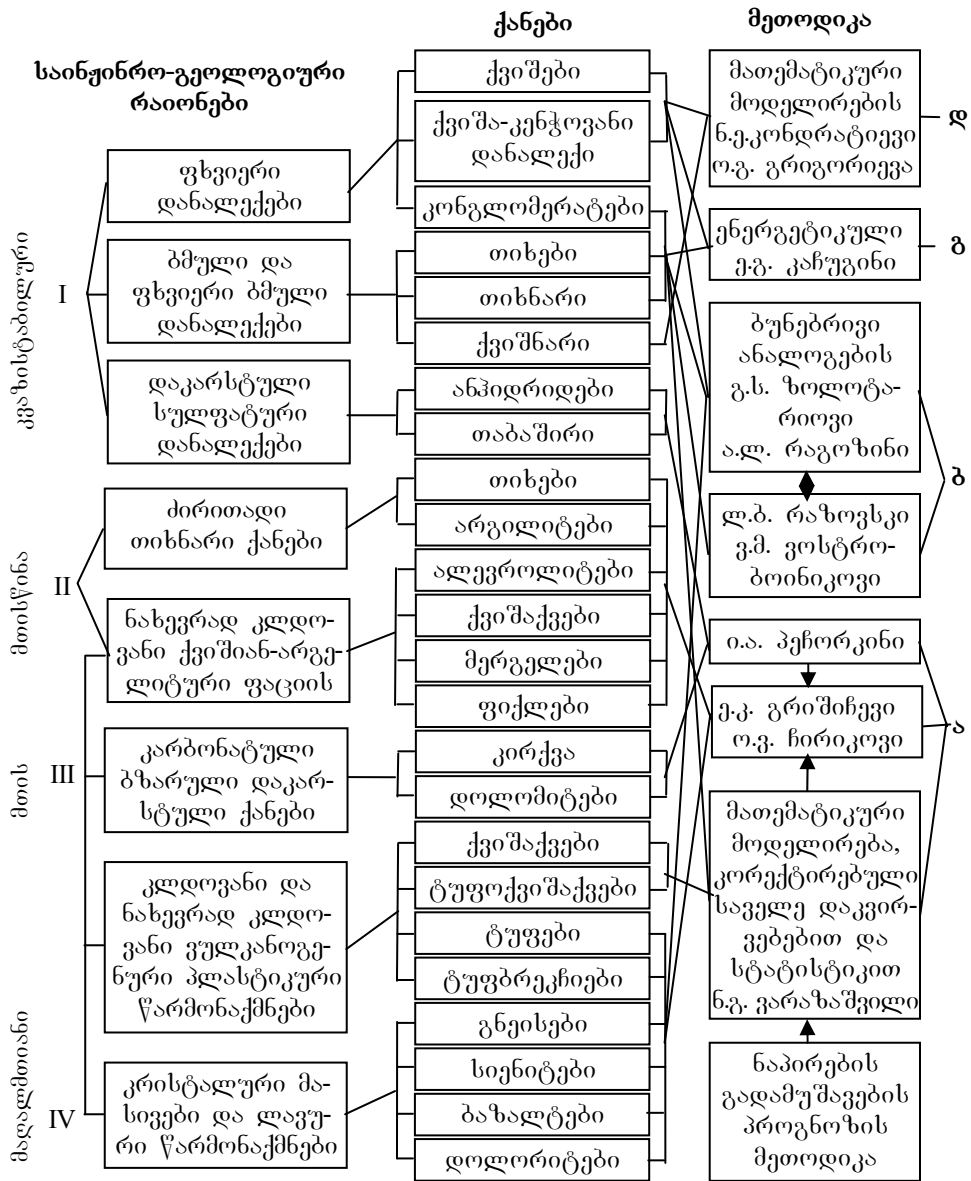
– კვლევების პირველი ეტაპი (1950 წლამდე) ხასიათდება უმთავრესად გეოლოგიური მიდგომებით (ფ.პ. სავარენსკი, ბ.ვ. პოლიაკოვი, ვ.ა. შირიამოვი და სხვ.).

– კვლევების მეორე ეტაპი (1960 წლამდე) ხასიათდება სხვადასხვა პოზიციიდან პროგნოზის მეთოდის დამუშავებით. ამ პერიოდში შექმნილია ძირითადი საფუძვლები, რომლებიც დღემდე გამოიყენება (ს.ლ. ვენდროვი, გ.ს. ზოლოტარიოვი, ე.კ. კაჩუგინი, ნ.ე. კონდრატიევი, ბ.ა. პიშკინი, ლ.ბ. როზოვსკი და სხვ.).

– კვლევების მესამე პერიოდი (1975 წლამდე), ძირითადად, ხასიათდება ნაპირის დინამიკის თეორიისა და დაგროვილი საველე დაკვირვებების მონაცემების დამუშავებით (ნ.გ. ვარაზაშვილი, ო.გ. გრიგორიევა, ვ.პ. ებიშინი, ვ.ლ. მაქსიმჩუკი, ი.ა. პეჩორკინი, ა.ს. სუდოლსკი, დ.პ. ფინაროვი, ვ.ი. შიროკოვი და სხვ.). ამ ეტაპზე დაიწყო მთის წყალსაცავების ნაპირების შესწავლა.

– მეოთხე პერიოდი ხასიათდება გარკვეული ფაქტორების: არასტაციონარული დონური რეჟიმის, რეგიონალური მახასიათებლების და დაზუსტებული პროგნოზის მეთოდის შესწავლით ფაქტორული ანალიზის გამოყენებით.

მთის წყალსაცავების ნაპირების გადამუშავების პროგნოზირება ხორციელდება განსაზღვრული ჯგუფის წყალსაცავებისათვის (ცხრ. 4.1.1).



ნახ. 4.1.1. წყალსაცავების ნაპირების გადამუშავების პროგნოზირების მეთოდები

პირობითი აღნიშვნები: I – კვაზისტაბილური, $A < 5$ მ; $V_y < 0,03$ მ/წმ, დაბლობის; II – არასტაბილური $A = 5 \div 20$ მ; $V_y = 0,03 \div 0,08$ მ/წმ, მთისწინა; III – საშუალო დამუშავების $A = 20 \div 50$ მ; $V_y = 0,08 \div 0,5$ მ/წმ, მთის; IV – სწრაფდამუშავებადი $A = 50 \div 100$ მ; $V_y = 0,5 \div 3,5$ მ/წმ, მაღალმთიანი. ა – მათემატიკური მოდელირების ნატურული დაკვირვებებისა და სტატისტიკური მონაცემების კორექტირებით; ბ – ბუნებრივი ანალოგების; გ – ენერგეტიკული; დ – მათემატიკური მოდელირების.

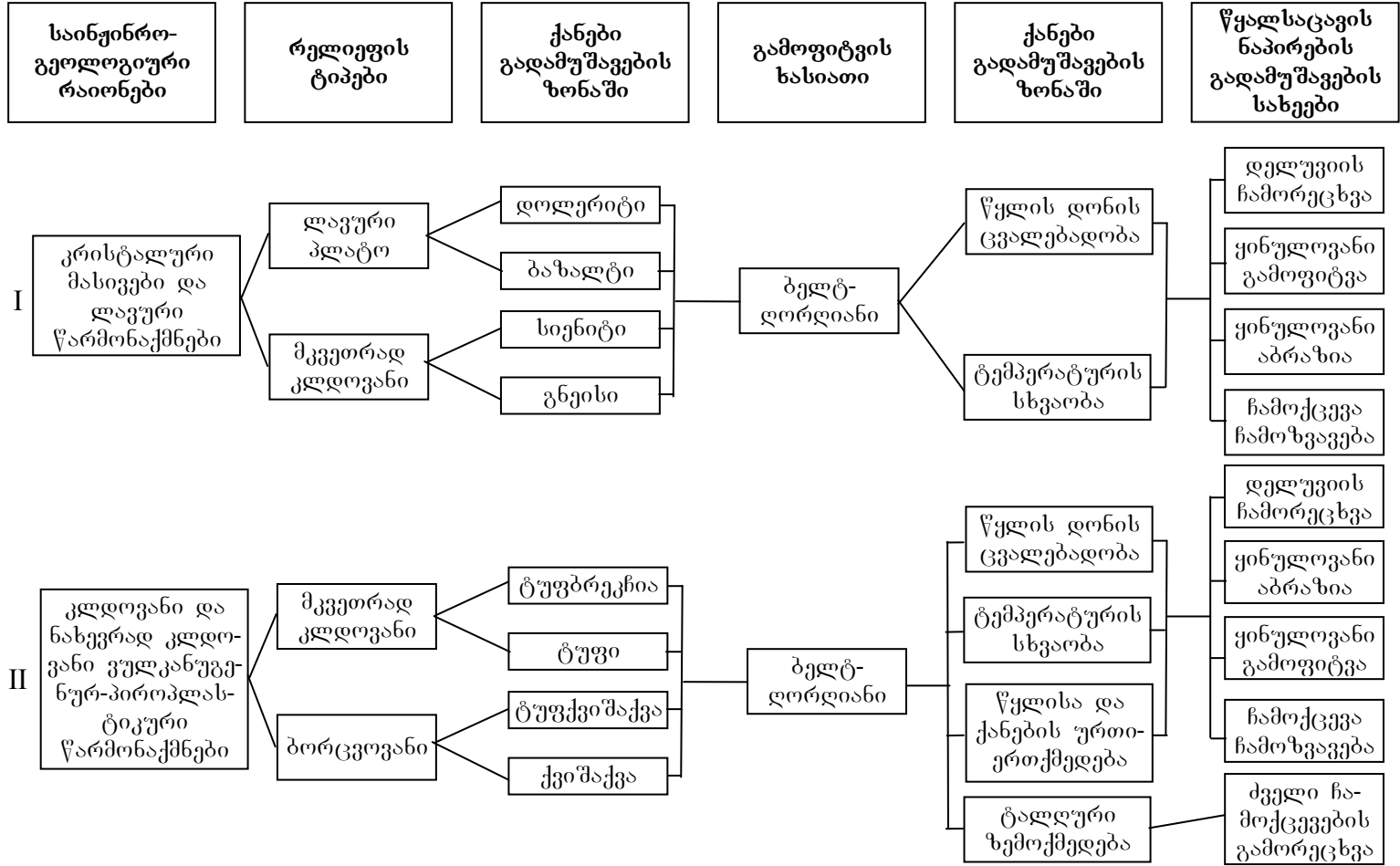
**წყალსაცავის ნაპირების გადამუშავების პროგნოზი
განსაზღვრული ჯგუფის წყალსაცავებისათვის**

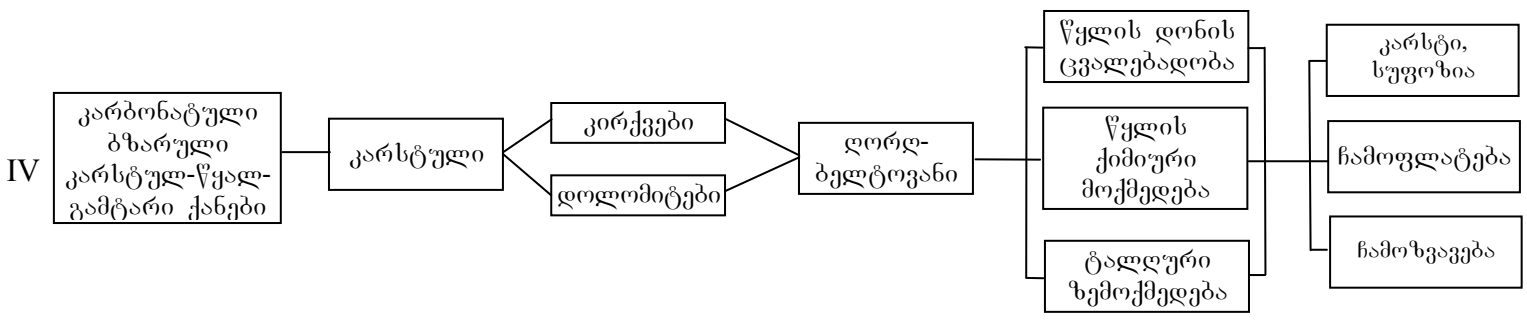
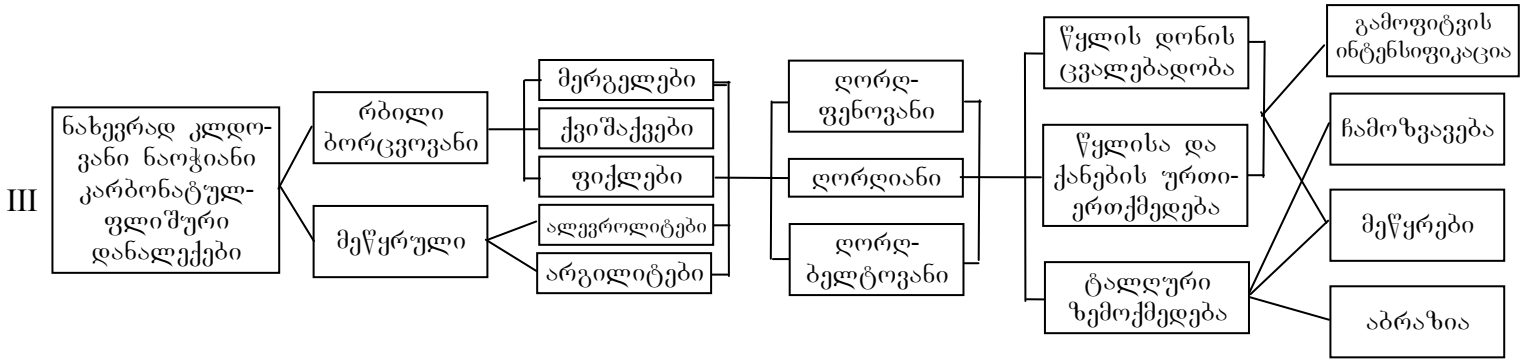
№	წყალსაცავის ჯგუფი	წყლის დონის ცვალებადობის ამპლიტუდა (A), მ	წყლის დონის გადაადგილების სიჩქარე ($V_{დნ}$), მ/დღეღამე	მორფომეტრული მაჩვენებელი H^2/F	რელიეფის მაჩვენებელი (საშუალო) "a"
1	კვაზისტაციონარული (დაბლობის, ვაკის)	< 6	<0,03	$8 \cdot 10^{-9} \div 3 \cdot 10^{-7}$	0,84
2	არასტაბილური (მთისწინა)	6÷20	0,03÷0,08	$3 \cdot 10^{-7} \div 3 \cdot 10^{-5}$	0,57
3	დონის საშუალო დამუშავების (მთის)	20÷50	0,08÷0,50	$3 \cdot 10^{-5} \div 3 \cdot 10^{-4}$	0,36
4	დონის სწრაფი დამუშავების (მაღალმთიანი)	50÷100	0,50÷1,50	$3 \cdot 10^{-4} \div 8 \cdot 10^{-3}$	0,27
5	დონის ინტენსიური დამუშავების	> 100	>1,50	$< 8 \cdot 10^{-3}$	0,12

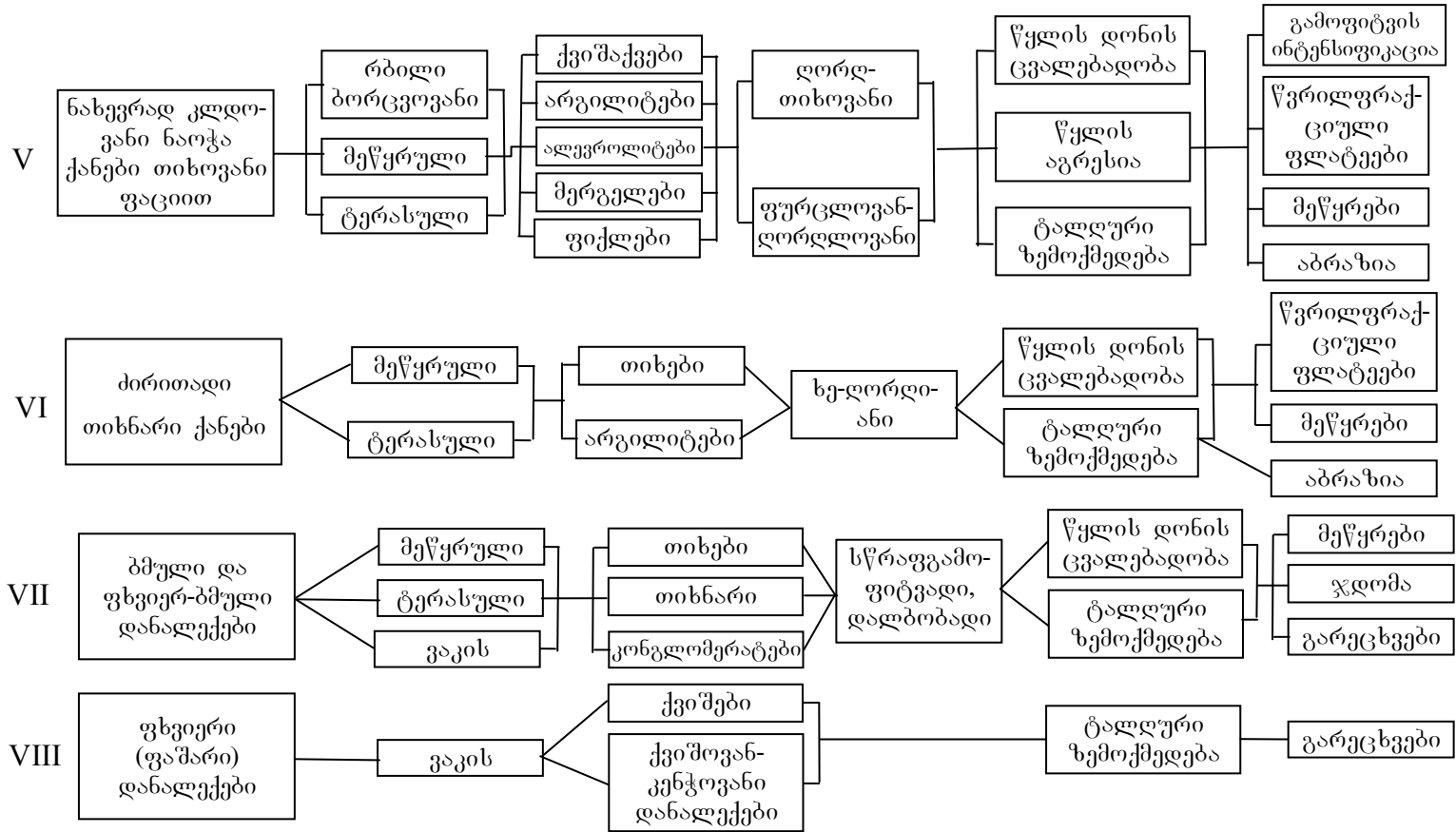
წყალსაცავების სანაპირო ზოლის ფორმირების პროგნოზირების თანმიმდევრობა მთისწინა და მთის რეგიონებისათვის შემდეგია:

1. საინჟინრო-გეოლოგიური დარაიონების თანახმად საერთო განვითარების პროცესების განსაზღვრა;
2. გეოლოგიური სიტუაციის ანალიზი და მისი ცვლილებები ფერდობის სიმაღლეზე;
3. სანაპირო ფერდობების გენეტიკური კლასიფიკაცია ფერდობის სიმაღლეზე და წყალსაცავის პერიმეტრზე;
4. დონეების ცვალებადობის, ქარ-ტალღური რეჟიმის და სხვადასხვა ხასიათის დინებების განსაზღვრა;
5. სანაპირო ფერდობების გადამუშავების რაოდენობრივი მაჩვენებლების დადგენა.

პროგნოზირებისას უნდა დადგინდეს საჭირო ფაქტორებისა და პირობების ნაკრები, სანაპირო ფერდობების გენეტიკური ტიპების მახასიათებლები და რვა საინჟინრო-გეოლოგიური რაიონი, დამახასიათებელი მთის რეგიონებისათვის [Варазашвили Н.Г., Гобечия Г.Н., 2002] (ნახ. 4.12, ცხრ. 4.12).







ნახ. 4.12. მთის წყალსაცავების სანაპირო ზონის ნაპირების ფორმირების საინჟინრო-გეოლოგიური დარაიონება

საქართველოს მთის წყალსაცავების ნაპირების
ძირითადი გენეტიკური ტიპები

ნაპირების ქვეტიპები	ნაპირების სახეობა	საერთო სიგრძე %-ში საერთოდან
1	2	3
I. ჰიდროგრაფიკული ნაპირები		23,6
დენუდაციური	ნაკლებ დენუდირებული ძლიერ დენუდირებული	2,8 4,5
მეწყრული	დეტრუზიული (ბლოკური)	8,0
	დელაფსიური (პლასტიკური)	3,0
	მეწყრული	1,0
ზვავურ-ფლატური	–	5,0
სუფოზურ-დაჯდომადი	–	3,2
კარსტული	ძირითადი	1,2
	დაჯდომადი	0,9
II. აბრაზიული ნაპირები		47,4
დენუდაციური (ძირითადი)	ნაკლებ გადამუშავებადი	3,9
	საშუალო გადამუშავებადი	3,0
	სწრაფგადამუშავებადი	1,6
გადარეცხვადი (ბმული და ფხვიერ-ბმული)	ზედაპირული ჩამორეცხვის	9,6
	ნაკლებ გადამუშავებადი	5,0
	საშუალოდ გარეცხილი	6,0
	ინტენსიურად გარეცხილი	5,3
ზვავურ-ფლატური	ბელტური	3,8
	დაჯდომადი	0,8
მეწყრული	მუდმივმოქმედი	2,6
	პერიოდულად მოძრავი	4,4
კარსტული	–	1,6
III. აკუმულაციური ნაპირები		9,1
ტალასოგენური	პლაჟური	3,2
	დაშრობითი	2,1
ფლუვიოგენური	ლამოვანი	0,8
	შესართავული	3,0
IV. ნეიტრალური ნაპირები		11,6
დრმა	ძირითადი	4,6
თავთხელი	–	4,4
ფიტოგენური	–	2,6
V. ლაგუნური ნაპირები		2,0
VI. დაჭაობებული ნაპირები		6,3
ზედაპირული	ბალახოვანი	3,0
	გრუნტული	1,1
ძლიერ დაჭაობებული	ბუნქოვანი	2,2

სანაპირო გრუნტების გარეცხვისადმი წინაღობის საერთო მახასიათებელი განისაზღვრება გრუნტის ტიპის გათვალისწინებით:

1) **არაბმული გრუნტებისათვის** გაანგარიშება ხორციელდება ნაწილაკების საშუალო შეწონილი დიამეტრის $d_{საშ} = \frac{\sum d_i P_i}{\sum P_i}$ გათვალისწინებით.

წვრილფრაქციული გრუნტებისათვის ($d < 0,25$ მმ) გაანგარიშება ხორციელდება გრუნტების წვეტაზე დაღლილობის სიმტკიცის $\left(C_y^P = \frac{175}{10^{10} d} \right)$ გათვალისწინებით.

2) **თიხოვანი ბმული გრუნტებისათვის** გაანგარიშება ხორციელდება გრუნტების წვეტაზე დაღლილობის ნორმატიული სიმტკიცის (C_y^H) გათვალისწინებით: $C_y^H = 0,035C$, სადაც $C = \frac{\sum n_i C_i}{n}$. გაანგარიშებისას, გრუნტის მოწყვეტილი აგრეგატების საშუალო დიამეტრის ($d_{საშ}$) მნიშვნელობა ტოლია $d_{საშ} = 3 \div 5$ მმ, ხოლო თიხოვანი გრუნტების ერთგვაროვნების კოეფიციენტი $k_0 \approx 0,4$.

3) კლდოვანი ქანებისათვის გაანგარიშებები ხორციელდება მათი სიმტკიცის მაჩვენებლების, ცემენტაციის მახასიათებლის, ფერდის დახრილობის, და ნაპრალების განვითარების გათვალისწინებით.

მთის წყალსაცავების წყლის ზედაპირის სარკის სიმცირის გამო რუკაზე, რომლის მასშტაბი არ უნდა იყოს 1:5000-ზე ნაკლები, დატანილია ფერდის დახრილობა, მეოთხეული ქანების სიმძლავრე, ქანების ყველა მახასიათებელი, ქარ-ტალღური რეჟიმის განაწილება და ა.შ.

პროცესების საერთო განვითარების დადგენა (ფონური პროგნოზი) სრულდება ბუნებრივი ანალოგების გამოკვლევების და კლასიფიკაციურ-ანალოგიური სქემების საფუძველზე. დეტალური პროგნოზი კეთდება ქარების ტიპებისა და სანაპირო ფერდობების გენეტიკური ტიპების გათვალისწინებით:

1) დენუდაციურად გარეცხვადი ნაპირების დამუშავების ინტენსიურობა განისაზღვრება გამოფიტვის პროცესების შედეგად გამოფიტული ფენების ჩამორეცხვით, გამოთვლის ძირითად მაჩვენებლად მიიღება გამოფიტვის სიჩქარე და შენარჩუნების მაჩვენებელი (გ.ს. ზოლოტარიოვი). რაოდენობრივი მახასიათებლები დგინდება ანალოგების საფუძველზე, ქანების ასაკის გათვალისწინებით. პროცესების განვითარების ინტენსიურობა განისაზღვრება ჩამოშლილი ელემენტების სიმსხოთი, რომლებიც ასრულებს დამცველის როლს. ნატეხების სიდიდე ($d_{საშ}$) შეიძლება დადგინდეს ფორმულით:

$$d_{\text{საშ}} \geq 0,022 \frac{\gamma_{\text{ფ}} k_{\text{ფ}}}{\gamma_{\text{ფ}} \gamma_0} \cdot \frac{m_0 \sqrt{m^2 + 1}}{m \cdot m_0} h \left(\frac{0,156 \sqrt[3]{\lambda}}{m \sqrt{n}} + 1 \right) \quad (4.1.1)$$

სადაც $\gamma_{\text{ფ}}$ – გრუნტის ხვედრითი წონაა; γ_0 – წყლის კუთრი წონა; $k_{\text{ფ}}$ – ნატეხების ფორმის კოეფიციენტი; $m = \text{ctg } \alpha$; h, λ – ტალღის სიმაღლე და სიგრძე; n – ფერდობის სიქისის კოეფიციენტი.

2) გრავიტაციული გადაადგილების განვითარება განპირობებულია ქანების მახასიათებლებით, ტექტონიკური დისლოცირებით და ნაპრალოვნობით.

გრავიტაციული ფერდობული პროცესების განვითარება შესაძლებელია ფერდობების 12°-ზე მეტი დახრილობის დროს.

გრუნტების გრავიტაციული გადაწვევის ინტენსივობა დამოკიდებულია წყლის დონის რეჟიმზე.

ფერდის მდგრადობის კოეფიციენტი განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$K_{\text{მდგრ.}} = \frac{\sum P_i \cos \alpha_i \text{tg } \varphi_i n + \sum C_i}{\sum P_i \cos \alpha_i}, \quad (4.1.2)$$

სადაც P_i – წყლის ფენით გამოწვეული წნევაა, ტ/მ²; α_i – ფერდის დახრილობა, გრად.; φ_i – შიდა ხახუნის კუთხე; n – ფერდის სიქისის კოეფიციენტი; C_i – ქანის შეჭიდულობა.

3) ქანებში იოლად ხსნადი თაბაშირიანი, სულფატური, კარსტული, კარბონატული გრუნტების არსებობისას ანგარიში ტარდება ცალცალკე:

ა) t პერიოდში ერთი გრძივი მეტრი თაბაშირიანი ნაპირების გადამუშავების მოცულობა ($Q_{\text{ფ}}$), ნაპირის გადამუშავების სიქარე ($V_{\text{ფ}}$) და ნაპირის გადაადგილების სიგრძე ($S_{\text{ფ}}$) ტოლია:

$$\left. \begin{aligned} Q_{\text{ფ}} &= V_{\text{ფ}} t^{0,907} H_{\text{საშ}} \\ V_{\text{ფ}} &= \frac{Q_{\text{ფ}}}{t} \\ S_{\text{ფ}} &= V_{\text{ფ}} t^{0,907} \end{aligned} \right\} \quad (4.1.3)$$

ბ) სულფატური ქანების გადამუშავების პროცესების ინტენსივობის მაჩვენებლები ($Q_{\text{ფ}}, S_{\text{ფ}}$) ტოლია:

$$\left. \begin{aligned} Q_{\text{ფ}} &= Q_0 + Q_{\infty} \ln \frac{t + t_{\text{ფ}}}{t_{\text{ფ}}} \\ S_{\text{ფ}} &= S_0 + S_{\infty} \ln \frac{t + t_{\text{ფ}}}{t_{\text{ფ}}} \end{aligned} \right\} \quad (4.1.4)$$

სადაც S_0 და Q_0 ნაპირის გადაადგილების სიგრძე (მ) და გარეცხვის მოცულობაა წყალსაცავის შექმნის პირველ წელს; S_m და Q_m – იგივე თაბაშირიანი ნაპირების შემთხვევაში; $t_g - 1$ გრძივ მეტრზე 1 ტ თაბაშირის გახსნის პერიოდი.

გ) დაკარსტული სულფატური ნაპირების შემთხვევაში დამუშავების პროცესების ინტენსივობის მაჩვენებლები (Q_g, S_g) ტოლია:

$$S_g = 2,58t^{0,91} \quad (4.1.5)$$

$$Q_g = 2,58H_{\text{ნაკ}} t^{0,907} \quad (4.1.6)$$

დ) კარბონატულ ქანებში პროცესების ინტენსივობა მცირდება და ნაპირის გადაადგილების სიდიდე ტოლია:

$$S_g = 0,62t^{0,87} \quad (4.1.7)$$

4) აბრაზიულ-გარეცხვადი ნაპირების ფორმირება დგინდება ტალღური ზემოქმედების და ქანების გარეცხვისადმი წინაღობის გათვალისწინებით.

მთის წყალსაცავების წყლის დონის რეჟიმის, მორფოგეოლოგიური შემადგენლობისა და ტალღური სიტუაციის სპეციფიკის გამო გაანგარიშება ხორციელდება სამი ძირითადი პოზიციისათვის:

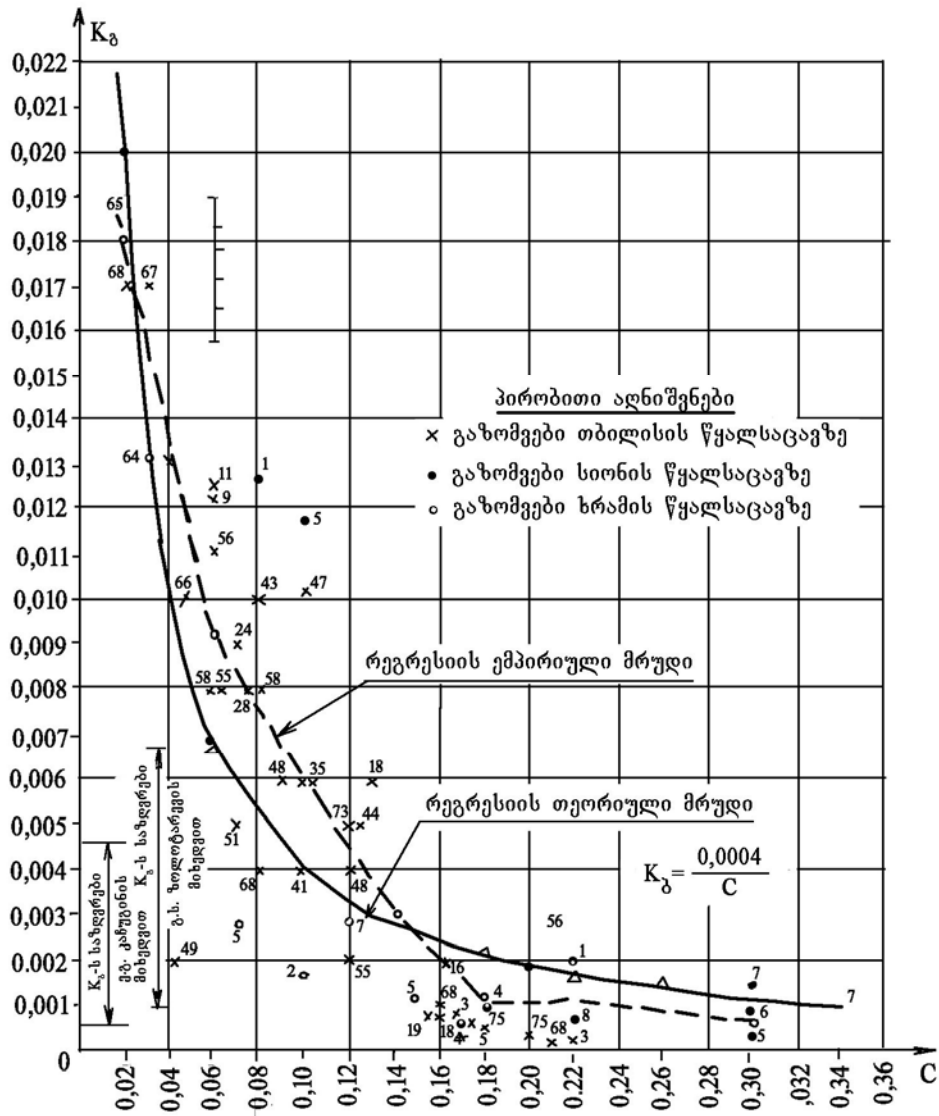
ანგარიშის პირველი პოზიცია – დონის დამუშავების წელიწადში 6 მ-ზე ნაკლებობის შემთხვევაში აბრაზიული ნაპირების გარეცხვის მოცულობა ტოლია [E.Г. Качугин, 1975]:

$$Q_g = E \cdot K_g \cdot K_s \cdot t^b, \quad (4.1.8)$$

სადაც E დღევის საშუალო წლიური ენერჯიაა, K_g – გარეცხვის კოეფიციენტი ($K_g = 0,004/C$, ცხრ. 4.1.3, ნახ. 4.1.3; K_s – შემასწორებელი კოეფიციენტი; $b = 0,45 \div 0,9$, ცხრ. 4.1.3, ნახ. 4.1.3).

ცხრილი 4.13

№	ქანების კლასი	K_g , მ ³ /გრძ.მ.	K_s
1	ძალიან გარეცხვადი ქანები	0,0065÷0,003	0,030
2	ქვიშა, თიხნარი, ქვიშნარი	0,003÷0,001	0,035
3	საშუალოდ გარეცხვადი ქანები (მძიმე ქვიშნარი, ტბისეული თიხა და სხვ.)	0,001÷0,0005	0,04
4	რთულად გარეცხვადი ქანები (კენჭი, ქვიშნარი, ზღვის თიხა)	< 0,0005	0,05



ნახ. 4.13. გარეცხვის კოეფიციენტის K_d და ქანების შეჭიდულობის (C) დამოკიდებულება

ხოლო კლდოვან ქანებში ძირითადი მახასიათებლებია ცემენტაცია და გამოფიტვა [H.Г. Варазашვილი, 2002], გარეცხილი ფერდის პროფილი დგინდება გრაფიკულად. ქანების ტექტონიკური რღვევის დროს გარეცხვის კოეფიციენტის მნიშვნელობა იზრდება 1,5÷1,8-ჯერ.

დონის დამუშავების წელიწადში 10 მ მეტობის შემთხვევაში საჭიროა დროისა და დონის დამუშავების გათვალისწინება [H.Г. Варазашვილი, 2002].

თუ დონის დამუშავების სიღრმე წელიწადში 20 მ-ზე მეტია, გაანგარიშება უნდა განხორციელდეს ყოველ 20 მ-ში.

ანგარიშის მეორე პოზიცია – დონის არათანაბარი დამუშავებისას 10 მ-მდე, გარეცხილი პროფილის მორფოლოგიური ელემენტების (გარეცხვის ქვედა საზღვარი – a_2 , დამყარებული პროფილის გასაშუალებული დახრილობა – $m = ctg \alpha$, გარეცხვის ზედა საზღვარი – a_1) გაანგარიშება ხორციელდება მიმდევრობით, სტაბილიზაციის ყველა საანგარიშო დონეზე.

გარეცხვის ზედა საზღვარი (a_1) ინიშნება ფერდზე ტალღების აგორების ($h_{აგორ.}$) და მოდენის ($h_{მოდ.}$) გათვალისწინებით:

$$a_1 = h_{აგორ.} + h_{მოდ.} \quad (4.1.9)$$

გარეცხვის ქვედა საზღვარი (a_2) ინიშნება გრუნტის ტიპის მიხედვით:

არაბმული გრუნტებისათვის:

$$a_2 = 0,08\lambda \cdot \operatorname{arcsh} \left(\frac{0,16\gamma_0 n_u \bar{h}^2}{m_p \bar{\lambda} \gamma_\delta d_{საშ.}} \right), \quad (4.1.10)$$

ბმული გრუნტებისათვის:

$$a_2 = 0,08\lambda \cdot \operatorname{arcsh} \left(\frac{0,825\gamma_0 n_u \bar{h}^2}{m_p \bar{\lambda} (\gamma_\delta d_{საშ.} + 1,25k_0 C_y^H)} \right), \quad (4.1.11)$$

სადაც \bar{h} და $\bar{\lambda}$ ტალღის საშუალო სიმაღლე და სიგრძეა, მ; γ_0 და γ_δ – წყლისა და გრუნტის კუთრი წონა; n_u – გადატვირთვის კოეფიციენტი, რომელიც გარეცხვისას ითვალისწინებს ნაკადის სიჩქარის პულსაციას, ზოგადად $n_u = \frac{V_{\Delta \max}}{V_{\Delta}}$, ხოლო ტალღური

ნაკადებისათვის $n_u \approx 4$; m_p – მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დანარჩენი ფაქტორების ზემოქმედებას [Ц.Е. Мирцхулава, 1974], (ცხრ. 4.1.4).

დონის ერთ ნიშნულზე ხანგრძლივი სტაბილიზაციისას გარეცხილი პროფილის მორფოლოგიური ელემენტები განისაზღვრება ფორმულებით:

არაბმული მსხვილფრაქციული გრუნტებისათვის ($d > 0,25$ მმ):

$$\frac{m - m_0}{m \cdot m_0} = \frac{0,16\gamma_0 n_u h^2}{m_p \bar{\lambda} \cdot \gamma_\delta d_{საშ.} \operatorname{sh}(2RH)}. \quad (4.1.12)$$

იგივე წვრილფრაქციული გრუნტებისათვის ($d < 0,25$ მმ):

$$\frac{m - m_0}{m \cdot m_0} = \frac{1}{\gamma_{\delta} d_{\text{ბ.შ.}}} \left[\frac{2,6\gamma_0 h^2}{\lambda \cdot sh(kH)} - 2C_y^H k_0 \frac{m_p}{n_u} \right] \quad (4.1.13)$$

ბმული გრუნტებისათვის:

$$\frac{m - m_0}{m \cdot m_0} = \frac{0,035}{\gamma_{\delta} d_{\text{ბ.შ.}}} \left[\frac{7,35\gamma_0 h^2 n_u}{\lambda_{\delta} \cdot m_p sh(kH)} - k_0 C_y^H \right] \quad (4.1.14)$$

ცხრილი 4.14

მუშაობის პირობების კოეფიციენტი

ბმული გრუნტები მუშაობის პირობები	m_p	არაბმული გრუნტები მუშაობის პირობები	m_p
1	2	3	4
ნაკადში შეწონილი ნატანის არსებობისას, არაუმეტეს 0,1 კგ/მ ³	1,30	ქვიშიანი ფერდები $d = 0,10 \div 0,25$ მმ	1,30
ნატანის მსხვილი ფრაქციების არსებობისას	0,75	ივივე $d = 1,0 \div 3,0$ მმ	1,50
ფერდი დაფარულია მცენარეულობით	1,10	ხრეშიანი ფერდები $d = 3,0 \div 10,0$ მმ	1,40
ფერდის პერიოდული დასველები- სას მშრალ ზონებში	0,20	ივივე $d = 10 \div 30$ მმ	1,20
ივივე ნოტიო ზონებში	0,60	კენტოვანი ფერდები	1,10
		ქვიანი ფერდები	1,00

ანგარიშის მესამე პოზიცია – დონის თანაბარი უწყვეტი გადაადგილებისას პრიზმის დამუშავების მოვლ სიგრძეზე წყალქვეშა დახრილობა იქნება:

$$\Delta m_n = m_{n+1} - m_n = 0,23 \frac{d_{\text{ბ.შ.}}}{a_2} \left(\frac{V_{\Delta\text{ფ}}^2}{V_{\Delta\text{გ}}^2} - 1 \right) \cdot k_y t_i^{0,62} l^{-0,11t}, \quad (4.1.15)$$

სადაც ფაქტობრივი და დასაშვები ფსკერული (დონური) სიჩქარეების შეფარდება იქნება:

$$\left(\frac{V_{\Delta\text{ფ}}}{V_{\Delta\text{გ}}} \right)^2 = \frac{2,1n_u h^2}{\lambda m_p (\gamma_0 d'_{\text{ბ.შ.}} + 1,25k_0 C_y^H) sh(2kH)}, \quad (4.1.16)$$

k_y – დონის დამუშავების კოეფიციენტი:

$$\left. \begin{aligned} k_y &= 1 - \frac{V_{\text{გ}}}{V_{\text{ბ.არ.}}} = 1 - \frac{\Delta h_{\text{გ}}}{\Delta h_{\text{ბ.არ.}}}, \\ \Delta h_{\text{ბ.არ.}} &= a_2 (1 - m_n / m_{n+1}) \end{aligned} \right\}, \quad (4.1.17)$$

(a_2) და (m_{n+1}) განისაზღვრება დონის სტაბილიზაციის პირობიდან.

ფერდის ქიმის გადაადგილების სიდიდე (Δb_i) დროის (Δt_i) მანძილზე იქნება:

$$\Delta b_i = 0,23d_{\text{ს.შ.}} \Delta t_i \left[\left(\frac{V_{\Delta\text{ფ.}}}{V_{\Delta\text{გ.არ.}}} \right) - 1 \right] \quad (4.1.18)$$

ფერდის გარეცხილი ინტეგრალური პროფილი განისაზღვრება კერძო ცვლილებების შეჯამებით. წყლის ზემოთ – ფერდის დახრილობა წყლით გაჟღენთილი გრუნტის ბუნებრივი დახრილობის ტოლია, ხოლო წყალქვეშა ფერდის დახრილობა (გარეცხილის ქვედა საზღვრის ქვემოთ) – იანგარიშება ანალოგების გამოყენებით.

პროცესის სტაბილიზაციის დრო განისაზღვრება ფორმულით:

$$t_{\text{სტ.}} = \frac{52,2a_2(m - m_{\text{ს.წ.}})}{\left[\left(\frac{V_{\Delta\text{ფ.}}}{V_{\Delta\text{გ.არ.}}} \right)^2 - 1 \right] d_{\text{ს.შ.}}}, \quad (\text{საათებში}) \quad (4.1.19)$$

თუ მიღებული უზრუნველყოფის ტალღების ფერდობზე ზემოქმედების დრო (Δt_n) ნაკლებია სტაბილიზაციის პროცესის დროზე ($t_{\text{სტ.}}$), მაშინ წყალქვეშა ფერდის დახრილობის ცვლილება იქნება:

$$\Delta m_n = m_{n+1} - m_n = \frac{0,23\Delta t_n d_{\text{ს.შ.}}}{a_2} \left[\left(\frac{V_{\Delta\text{ფ.}}}{V_{\Delta\text{გ.არ.}}} \right)^2 - 1 \right] \quad (4.1.20)$$

დონის თანაბარი გადაადგილებისას წყალქვეშა ფერდის დახრილობა იქნება:

$$m_n = \frac{0,23\Delta t_n d_{\text{ს.შ.}} k_t}{a_2} \left[\left(\frac{V_{\Delta\text{ფ.}}}{V_{\Delta\text{გ.არ.}}} \right)^2 - 1 \right], \quad (4.1.21)$$

სადაც

$$k_t = 1 - \frac{V_{\text{დონ.}}}{V_{\text{გ.არ.}}} = 1 - \frac{\Delta h_{\text{დონ.}}}{\Delta V_{\text{გ.არ.}}}, \quad \Delta h_{\text{გ.არ.}} = a_2 \left(1 - \frac{m_n}{m_{n+1}} \right), \quad (4.1.22)$$

სადაც $\Delta h_{\text{დონ.}}$ არის გადაადგილების სიდიდე საანგარიშო პერიოდში; $\Delta h_{\text{გ.არ.}}$ – გარეცხვის სიღრმე იმავე პერიოდში; (a_2) და (m_{n+1}) – იანგარიშება სტაბილიზაციის პირობებში.

პრაქტიკული გაანგარიშებებისათვის ფაქტობრივი დასაშვები ფსკერული სიჩქარეების თანაფარდობა ტოლია:

$$\frac{V_{\Delta\text{ფ}}^2}{V_{\Delta\text{ფარ.}}^2} = \frac{2,615a_d^2 n_u h^2}{Lm(\gamma d_{\text{საშ.}} + 1,25k_0 C_y^H) sh(2kH)}, \quad (4.1.23)$$

სადაც H არის სიღრმე; a_d – ტალღების დახრილობის კოეფიციენტი (ცხრ. 4.1.5)

ცხრილი 4.15

a_d კოეფიციენტის მნიშვნელობები

λ/h	10	15	20	25
a_d	0,55	0,65	0,75	0,90

მაგალითი. თბილისის ზღვის აბრაზიული ნაპირის გადამუშავების პროგნოზირება წყლის დონის თანაბარი უწყვეტი დამუშავებისას (ანგარიშის მესამე პოზიცია).

ანგარიში ტარდება ერთ-ერთი საანგარიშო აბრაზიული პროფილისათვის (XII მონაკვეთი) (ნახ. 3.2.3).

ანგარიში ტარდება შემდეგი თანმიმდევრობით:

ა) XI მონაკვეთის მორფოლოგიური მონაცემებია:

ფერდის გრუნტი – მხატე თიხნარია, $\gamma_{\text{ფ}} = 2,69$ ტ/მ³; $C = 0,125$ კგ/მ²; გრუნტის წყვეტაზე დადლილობის ნორმირებული სიმტკიცე – $C_y^H = 0,035 \cdot 0,125 = 0,044$ ტ/მ²; გრუნტის მოწყვეტილი აგრეგატების საშუალო დიამეტრი – $d_{\text{საშ.}} = 0,008$ მ; შიდა ხახუნის კუთხე – $\phi = 19^\circ$, $m_0 = 2,904$; ფერდის საწყისი კუთხე $\alpha = 13^\circ 20'$, $m_1 = 4,219$. ქარის სიჩქარისა და ღელვის ელემენტების მონაცემები საანგარიშო პროფილისათვის (XII მონაკვეთი) მოყვანილია ცხრ. 4.1.6-ში.

ცხრილი 4.16

№	ქარის სიჩქარე, მ/წმ	ტალღის სიმაღლე \bar{h} , მ	ტალღის საანგარიშო სიგრძე $\bar{\lambda}$, მ	ფსკერული სიჩქარე $V_{\text{ფ}}$, მ/წმ (წრფივი თეორიის გამოყენებით)	ქარის ხანგრძლივობა საანგარიშო პერიოდში T , დღე-ღამე
1	1÷5	0,06	0,9	0,18	70
2	6÷10	0,20	3,5	0,28	18
3	11÷15	0,42	6,0	0,51	32
4	16÷22	0,75	8,5	0,61	10
5	24÷28	0,92	10,5	0,71	1,2

XII მონაკვეთის გრუნტის დასაშვები (არაგამრეცხი) სიჩქარე იქნება:

$$V_{\Delta\text{დ}} = 1,25 \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 10}{2,6 \cdot 1,0 \cdot 4} (1,69 \cdot 0,008 + 1,25 \cdot 0,53 \cdot 0,044)}$$

$$V_{\Delta\text{დ}} = 0,347 \text{ მ/წმ.}$$

როდესაც ქარის სიჩქარე < 10 მ/წმ-ზე (ცხრ. 4.1.6), ფსკერული სიჩქარის ფაქტობრივი მნიშვნელობა ნაკლებია დასაშვებზე და ნაპირის გარეცხვა უმნიშვნელოა. უფრო ძლიერი ქარის დროს წარმოიქმნება მნიშვნელოვანი სიმაღლის ტალღები ($h > 0,4$ მ, ცხრ. 4.1.6) და, შესაბამისად, ადგილი აქვს ნაპირის გარეცხვას.

ტალღების პარამეტრების შემდეგი მნიშვნელობებისას – $h = 0,42$ მ, $\lambda = 6,0$ მ (ცხრ. 4.1.6) – მდგრადი ფერდობის დახრილობა ($m = \text{ctg } \alpha$) განისაზღვრება ტოლობიდან:

$$\frac{m - 2,904}{2,904m} = \frac{0,35}{1,69 \cdot 0,008} \left(\frac{1,23 \cdot 0,225 \cdot 1,0}{19,62} - \frac{0,53 \cdot 1,0 \cdot 0,44}{4} \right)$$

საიდანაც $m = 8,06$, $\alpha = 7^\circ$.

გარეცხვის ქვედა საზღვარია:

$$a_2 = 0,078 \cdot 6,0 \cdot \text{arsh} \left(\frac{0,825 \cdot 4 \cdot 0,176}{6 \cdot 1,0 \cdot 0,041} \right) = 0,732 \text{ მ.}$$

ნაპირის სტაბილიზაციისათვის საჭირო დრო:

$$t_{\text{სტ}} = \frac{0,218 \cdot 0,732 (8,06 - 4,219)}{0,008 \left(\frac{0,225}{0,121} - 1 \right)} = 84 \text{ დღე-ღამე.}$$

ამრიგად, ფერდობის სტაბილიზაციისათვის 32 დღე-ღამე (ცხრ. 4.1.6) არაა საკმარისი და გათანასწორებული ფერდობის ფორმირება ვერ მოესწრება. ფერდობის დახრილობის ცვლილება საანგარიშო პერიოდში (32 დღე-ღამე) იქნება:

$$m_{n+1} = 4,219 + \frac{5,52 \cdot 0,008 \cdot 32 \left(\frac{0,221}{0,121} - 1 \right)}{0,732} = 5,883, \quad \alpha = 9^\circ 40'.$$

ფერდობის გარეცხვის სიჩქარეა:

$$V_{\text{გარ.}} = \frac{0,732}{32} \left(1 - \frac{4 \cdot 219}{5,883} \right) = 0,0065 \text{ მ/წმ.}$$

საანგარიშო პერიოდში დონის გადაადგილების სიჩქარე $V_{\text{დ}} = 0,00121$ მ/წმ.

დონის არამუდმივობისას დროის მაკორექტირებელი კოეფიციენტი

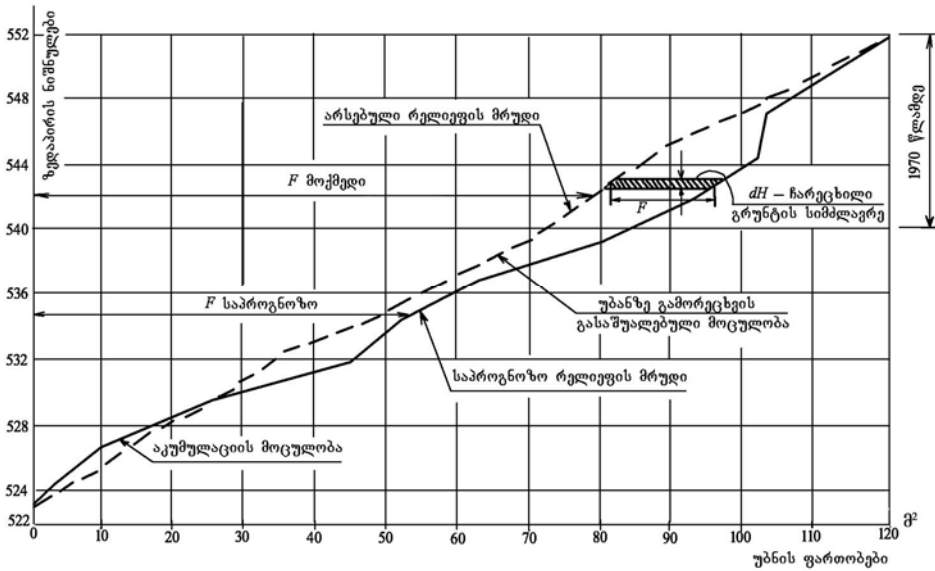
$$k_y = 1 - \frac{0,00121}{0,00653} = 0,815.$$

ტაღლების მოქმედების დრო, დონის გადაადგილების გათვალისწინებით, იქნება:

$$\Delta t = 0,815 \cdot 32 = 26 \text{ დღე-ღამე.}$$

$$\text{მაშინ, } m_{n+1} = 4,219 + \frac{5,52 \cdot 0,008 \cdot 26 \cdot 0,86}{0,732} = 5,569, \quad \alpha = 10^\circ 10'.$$

ანალოგიურად ტარდება ანგარიში ტაღების ყველა პარამეტრისათვის. პროფილის გრაფიკული აგების მაგალითი მოყვანილია ნახ. 4.1.4-ზე.



ნახ. 4.1.4. თბილისის წყალსაცავის ნაპირის (XII მონაკვეთი) გადამუშავების პროგნოზირება

ფერდის გარეცხვის პროგნოზირება საწყისი მონაცემების არასაკმარისი რაოდენობისას.

საწყისი მონაცემების არასაკმარისი რაოდენობის დროს ფერდის გარეცხვის საორიენტაციო პროგნოზირება ტარდება ანალოგების გამოყენებით. ამ შემთხვევაში ფერდის გარეცხვის პროგნოზირებისათვის საჭიროა შემდეგი საწყისი მონაცემები:

1. წყალსაცავის ტოპოგრაფიული რუკები, მასშტაბით 1:25000÷1:50000;
2. წყალსაცავის საანგარიშო ფერდის გეოლოგიურ-ლითოლოგიური რუკები, მასშტაბით 1:50000÷1:100000;

3. წყალსაცავში წყლის დონისა და მისი უზრუნველყოფის გრაფიკები;

4. ქარის რეჟიმის მონაცემები;

5. ქანების გრანულომეტრული და ფიზიკურ-მექანიკური მონაცემები (მოცულობითი წონა, C – შეჭიდულობა, φ – შიდა ხახუნის კუთხე).

I. აბრაზიის პროგნოზირების **პირველი ეტაპია** წყალსაცავის სანაპიროს დაყოფა სამ მონაკვეთად (ტოპოგრაფიული რუკის გამოყენებით):

1. კონცხისებური ნაპირი, რომლის დაკლაკნილობის კოეფიციენტი $I > 1,3$;

2. უბნის ტიპის ნაპირი, რომლის დაკლაკნილობის კოეფიციენტი $I < 1,3$;

3. სწორი ნაპირი, რომლის დაკლაკნილობის კოეფიციენტი $I < 1,3$.

II. აბრაზიის პროგნოზირების **მეორე ეტაპზე** იანგარიშება ტალღური ენერჯიის (\mathcal{E}) მნიშვნელობა:

$$\mathcal{E} = 4500h^{2.5} \cos \beta \cdot t, \quad (4.1.24)$$

სადაც h ტალღის სიმაღლეა, რომლის სიდიდე აიღება სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე, ან საანგარიშო პროგნოსტიკული რეკომენდაციების გამოყენებით [Иорданишвили И.К., 2004]; β – ტალღების დომინირებულ მიმართულებასა და ნაპირთან ნორმალს შორის კუთხე; t – ტალღების მოქმედების ხანგრძლივობა (დღე-ღამე).

III. **მესამე ეტაპზე** ტარდება ნაპირის ე.წ. „დაყვანილი“ სიმაღლის (\bar{h}_6) ანგარიში ნაპირის გეომორფოლოგიური კლასიფიკაციის მიხედვით (ცხრ. 4.1.7).

ტერასის ტიპისათვის ნაპირის „დაყვანილი“ სიმაღლე \bar{h}_6 ხრამის ნ.შ.დ.-ზე ზევით სიმაღლეა (ცხრ. 4.1.7).

ფერდობული ტიპის ნაპირის გარეცხვის სიგანე (S) და „დაყვანილი“ სიმაღლე (\bar{h}_6) 10%-იანი უზრუნველყოფისას იანგარიშება ნახ. 4.1.5 და ნახ. 4.1.6-ის გამოყენებით.

სხვა შუალედური ნაპირების მორფოლოგიური ტიპებისათვის \bar{h}_6 დგინდება პირველი ან მეორე, უფრო შესაბამისი, ანგარიშის მიხედვით.

IV. **მეოთხე ეტაპზე** ხდება ფერდობის გრუნტის მოცულობითი წონის (γ) განსაზღვრა მათი საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობების მიხედვით, საანგარიშო ფერდობის „დაყვანილი“ სიმაღლისათვის.

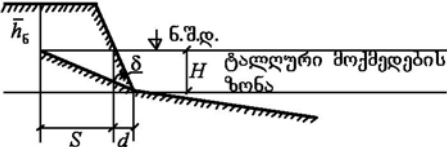
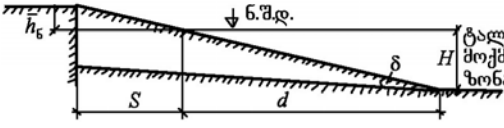
V. **მეხუთე ეტაპზე** ტარდება ფერდობის ძვრის საშუალო კუთხის (ψ) ანგარიში:

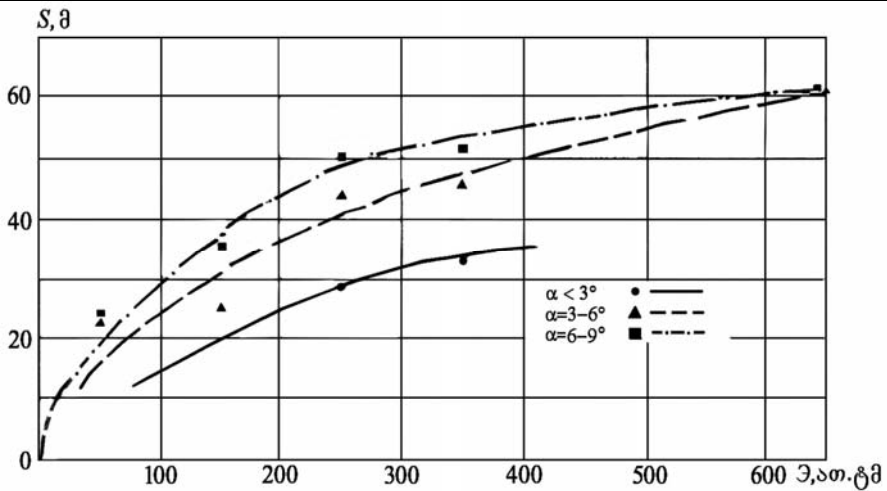
$$t \cdot \psi = \operatorname{tg} \varphi + \frac{C}{P}, \quad (4.1.25)$$

სადაც φ გრუნტის შიდა ხახუნის კუთხეა; C – შეჭიდულობის კოეფიციენტი; $P = \gamma \bar{h}_6$ – ყოფითი დაწნევა; γ – გრუნტის მოცულობითი წონა.

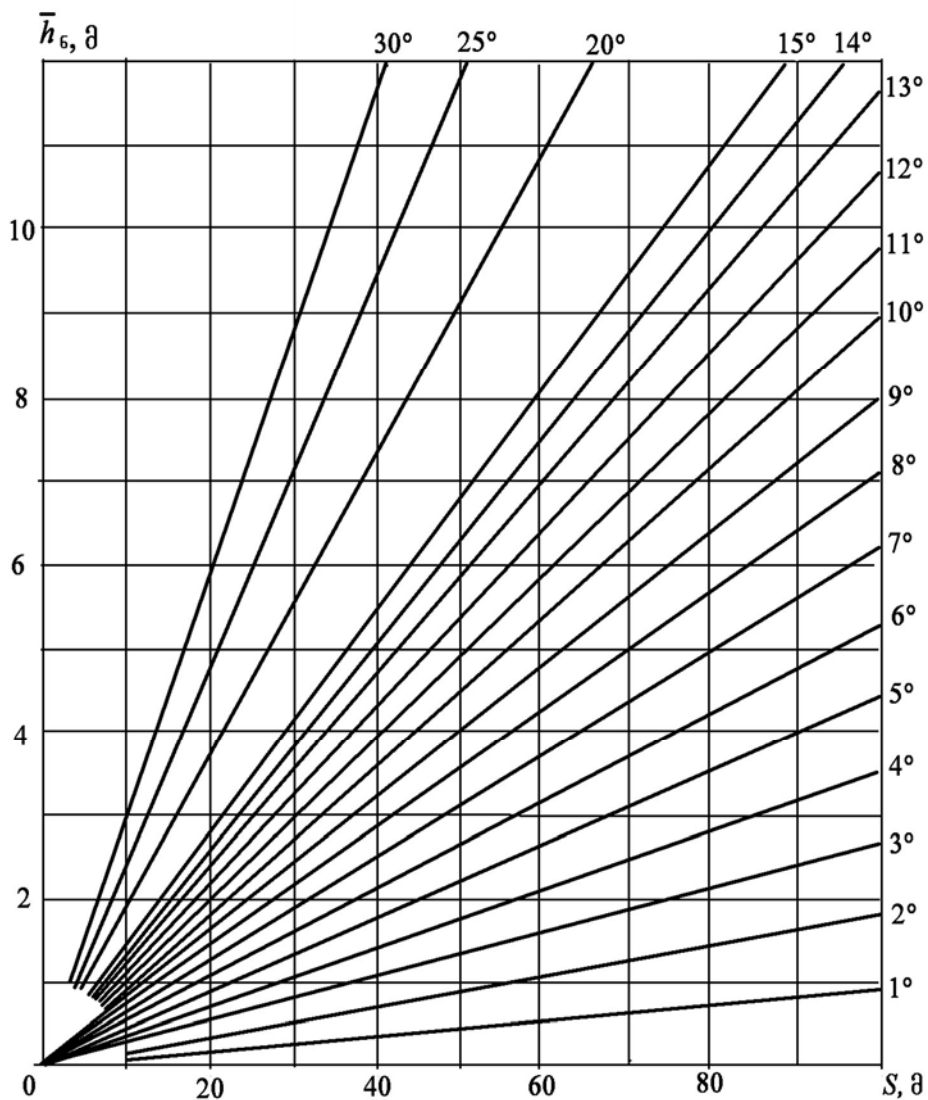
ცხრილი 4.17

წყალსაცავის ნაპირის გეომორფოლოგიური კლასიფიკაცია ნიშან-თვისებების მიხედვით

№	ნაპირის მორფოლოგიური ინდექსი	ნაპირის სქემა	გეომორფოლოგიური დახასიათება	კიდის მახასიათებლები
1	I (ტერასა)		აკუმულაციური ტერასა	დახრამული ნაპირები
2	II (ფერდობი)		დახრილი ფერდობი	დახრილი ნაპირები



ნახ. 4.1.5. ნაპირის გარეცხვის სიგანის (S), ტალღური ენერჯის (\mathcal{E}) და ფერდობის დახრილობის (α) დამოკიდებულების გრაფიკი



ნახ. 4.16. ნაპირის „დაყვანილი“ სიმაღლისა და გარეცხვის დამოკიდებულების გრაფიკი

VI. მეექვსე ეტაპზე იანგარიშება ტალღური მოქმედების ზონის სიგანე (d) (ცხრ. 4.1.7):

$$d = H \cdot \operatorname{ctg} \delta, \quad (4.1.26)$$

სადაც $H = a_2$ არის ტალღებისაგან გარეცხვის სიღრმე და იანგარიშება ფორმულა (4.1.11)-ის გამოყენებით; δ – ფერდობის დახრილობა გარეცხვის სიღრმის (H) ფარგლებში (ცხრ. 4.1.7).

VII. მეშვიდე ეტაპზე ტარდება ფერდობის გარეცხვის საორიენტაციო პროგნოზირება სხვადასხვა დროისათვის (ცხრ. 4.1.8)

ცხრილი 4.1.8

ფერდობის გარეცხვის მნიშვნელობა ($S_{10\%}$), მ	გადამყვანი კოეფიციენტები			
	10 წელი	15 წელი	20 წელი	50 წელი
30÷50	1,5	1,9	2,2	3,0
50÷80	1,4	1,8	2,2	2,8
80÷100	1,3	1,8	2,1	2,5
> 100	1,2	1,5	2,0	2,5

ფერდობის აბრაზიის საორიენტაციო საპროგნოზო ანგარიშის მაგალითი.

მოცემულია: ტალღური ენერგია $\Theta = 412$ ათასი ტმ; ფერდობის თავდაპირველი დახრილობა $\alpha = 9^\circ$; ფერდობის გრუნტების ტიპი – ქვიშნარიანი.

ანგარიში: წყალსაცავის 5 წლის ექსპლუატაციის შემდეგ ვპოულობთ ფერდობის გარეცხვის სიგანის (S) მნიშვნელობას ნახ. 4.1.5 და ნახ. 4.1.6-ის გამოყენებით:

$$S = 60,0 \text{ მ.}$$

წყალსაცავის ექსპლუატაციის 50 წლის შემდეგ (ცხრ. 4.1.8):

$$S_{50} = 60 \cdot 2,8 = 168,0 \text{ მ.}$$

4.2. მთის წყალსაცავების ტაფობის ფორმირების პროგნოზირება

დალაშქვისა და დაღეჭვის გაანგარიშება განსაზღვრულ ვადებზე, მთიანი პირობების, წყალსაცავის პარამეტრების და მათი ექსპლუატაციის რეჟიმის გათვალისწინებით, წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტში სრულდებოდა მთის წყალსაცავების კვლევებზე დაყრდნობით [H.G. Vaprazashvili, 2002; I. Iordanishvili, 2009].

წყალსაცავის ტაფობში ნატანის აკუმულაციის ძირითადი არასასურველი შედეგები შეიძლება დაყვანილ იქნეს შემდეგზე:

- წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობის დანაკარგები;
- დატბორვისა და შეტბორვის ზონების გაფართოება, განსაკუთრებით, წყალსაცავის ზემო წელში, წყლის დონის ნიშნულის აწევის გამო;

- წყლის ხარისხის გაუარესება;
- ობიექტის ექსპლუატაციის პირობების გაუარესება, წყალამდები და გამრეცი მოწყობილობების შემაჯავლი ხვრეტების ნატანით შევსების გამო.

პროგნოზულ გაანგარიშებებში ნატანის ჩამონადენის მოცულობა, წარმოდგენილი 0,001 მმ-ზე ნაკლები დიამეტრის ნაწილაკებით, მთის-წინა და მთიანი რეგიონების პირობებში, გამოირიცხება ნატანის ბალანსიდან, რადგან ამ ნაწილაკების ტრანსპორტირება ხდება შეტივტივებულ მდგომარეობაში და გადაეშვება ჰიდროკვანძის ქვედა ბიეფში.

საერთო სიტუაციაში, პროგნოზულ გაანგარიშებებში ჩართული უნდა იყოს:

- ტაფობის შესავსებად საჭირო დროის, ან წყალსაცავის მუშაობის ვადის განსაზღვრა;
- წყალსატევის ფსკერზე დანალექების განაწილების დადგენა სისქის და შემადგენლობის მიხედვით;
- დატბორვის ზონის საზღვრების განსაზღვრა ტაფობის დაღამვისა და დალექვის შედეგად შეტბორვის მრუდის ცვლილებისას;
- ნატანის დაგროვების პროცესის განვითარების ინტენსივობის შემცირების უზრუნველყოფის დამცავი ღონისძიებების ეფექტურობის შეფასება.

გაანგარიშებების შესრულებისას საფუძვლად მიიღება შემდეგი მაჩვენებლები:

- ტაფობის შევსებისას წყალმიმოცვლის პირობითი ხანგრძლივობის $t_y = \frac{W_{br}}{W_{\phi}}$;

- პირობითი დაღამვის $t_{\text{ღ}} = \frac{W_{br}}{W_{\phi}}$ ან $t_{\text{ღ}} = \frac{W_{\phi} - W_{\text{დ}}}{W_{\phi}}$, სადაც W_{br} -

წყალსაცავის სრული მოცულობაა, $W_{\text{დ}}$ - კალაპოტის მოცულობა, W_{ϕ} - ნატანის მოცულობა, W_{ϕ} - წყლის წლიური ჩამონადენის მოცულობა.

წყალსაცავის დალექვის პროცესი შეიძლება დავკოთ სამ ეტაპად:

- პირველი ეტაპის განმავლობაში შეინიშნება ტაფობის მონოტონურად დალექვა - ნატანის მთლიანად დალექვით.

ამ ეტაპის ხანგრძლივობა (t_I) შეიძლება გაანგარიშდეს შემდეგი

გამოსახულების გამოყენებით $t_I = \frac{W_{br} - 8,33W_{\text{დ}}}{W_{\phi}}$, $W_{\text{დ}} = L \cdot w_{\text{დ}}$ (L - კალაპოტის სიგრძეა, $w_{\text{დ}}$ - მისივე განივკვეთის ფართობი).

- მეორე ეტაპზე დალექვის პროცესის ინტენსივობა მცირდება, რადგან ხდება ნატანის ჩამოგდება ქვედა ბიეფში;

- მესამე ეტაპზე აღინიშნება ნატანის მთლიანად ჩამოგდება ქვედა ბიეფში და პროცესი სტაბილურ ხასიათს იღებს.

მთისწინა და მთის წყალსაცავების ტაფობში ნატანის აკუმულაციის (დალამვა და დალექვა) პროგნოზირების მეთოდის განისაზღვრება მდინარეთა ჰიდროლოგიური რეჟიმის განსხვავებით.

ეს პროცესები განსხვავდება როგორც განვითარების ხასიათით, ისე ნალექების ადგილმდებარეობით: დალამვა მიმდინარეობს წყალსატევის შუა და ქვედა ნაწილში, შეტბორვის დონეზე დაბლა, ხოლო დალექვა – წყალსატევის ზედა ნაწილში.

ყველა მთიანი რეგიონის დამახასიათებელი განმაზოგადებელი ნიშნები შეიძლება დაყვანილ იქნეს შემდეგზე:

- მთის მდინარეთა ტრანსპორტირების მაღალი უნარი მდინარეთა ნაკადის ნატანით მნიშვნელოვნად გაჯერების ფონზე, რაც განაპირობებს პროცესების მაღალ ინტენსივობას;
- მდინარეთა მყარი ჩამონადენის არათანაბარი განაწილება სეზონურ და მრავალწლიურ ჭრილში, გართულებული თხევადი და მყარი ჩამონადენის მოცულობების თანაფარდობაში კანონზომიერების არარსებობის გამო;
- ნატანის ფრაქციული შემადგენლობის დიდი არაერთგვაროვნება და ცვალებადობა, რაც განაპირობებს წყალსატევის ფსკერზე დანალექის არათანაბარ განაწილებას სისქის, სიმკვრივისა და შემადგენლობის მიხედვით;
- წყალსატევში წყლის დონის მნიშვნელოვანი მერყეობა, რაც განაპირობებს ნალექის დაგროვებისა და ფორმირების განსაკუთრებულ პირობებს და წყალსატევის ფსკერზე ნატანის მეორადი გადანაწილების ხასიათს;
- ფსკერული სტრატეფიკაციული დინებების ფორმირება, რაც განაპირობებს 0,02 მმ-ზე ნაკლები სიმსხოს და 1÷2 გრ/ლ-ზე მეტი სიმღვრივის ნატანის გადატანას კაშხლის კვეთისაკენ. მკვრივი ნაკადები შეიძლება წარმოიქმნას წელიწადში რამდენიმეჯერ.

მღვრიე ნაკადების წარმოქმნის კრიტერიუმად მიღებულია *რიხარდ-სონის* რიცხვი:

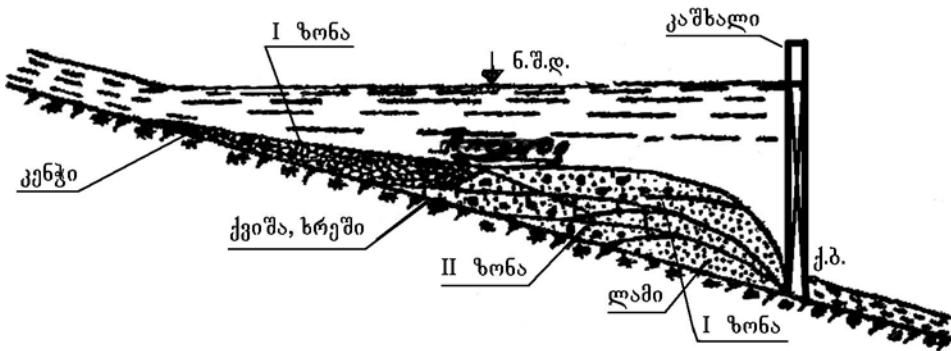
$$R_i = \frac{g}{\rho} - \frac{\Delta\rho H}{V^2} > 0,25,$$

სადაც ρ , H და V , შესაბამისად, სიმკვრივე, სიღრმე და ნაკადის სიჩქარეა წყალსატევის ფსკერზე, განსაზღვრული ρ_1 სიმღვრივის ნაკადის

არათანაბარი მოძრაობის განტოლებით;

- დინების პირობების მკვეთრი ცვლა ძლიერ დაკლანკილი მთის კალაპოტიდან წყალსაცავის ტაფობში სწორზე გადასვლისას, რაც მკვეთრად ამცირებს განივ ცირკულაციას და სითხის მასების ერთმანეთში შერევას, ე.ი. წყალსაცავში მდინარის ყოფილ კალაპოტურ ნაწილში დაღამვის ინტენსივობის ზრდას;
- რეგრესიული დაღექვის ფორმირება ან ნაღექის (ძირითადად, მსხვილი ფრაქციის) გადაადგილება წყალსაცავის ზედა ნაწილში, პირველადი შეტბორვის დონის ზემოთ.

მთის წყალსაცავების ტაფობის საზღვრებში ნაღექის განაწილების შესაბამისად გამოიყოფა სამი ძირითადი ზონა (ნახ. 4.2.1).



- ნახ. 4.2.1. მთის წყალსაცავების ტაფობში ნატანის აკუმულაციის სქემა
- I – წყალსაცავის ზემო ნაწილში, სადაც ტბური რეჟიმი პერიოდულად იცვლება კალაპოტურით, დანაღექის სისქის აგებულება მკაფიოდ შრეულია, ნატანი განსხვავებული ფრაქციულობის;
 - II – წყალსაცავის შუა ნაწილში ერთდროულად წარმოიქმნება დაღექვის ორი პრიზმა: ერთი – მსხვილი, შეტივტივებული და წვრილი ფსკერული ნატანის და მეორე – მსხვილი ფსკერული ნატანისაგან. აღინიშნება პრიზმების გადაადგილება, როგორც ზემოთ, ისე ქვემოთ, დინების მიმართულებით;
 - III – კაშხლის მიმდებარე ნაწილში გროვდება ნატანის ძირითადი მასა, კაშხალთან მიახლოებისას ნაღექის შემადგენლობის არაერთგვაროვნება ქვეითდება და შრეების სიმკვეთრე ირღვევა.

წყალსაცავის ყოველწლიური დაღამვის პროცესის დინამიკა ($W_{6,\%}$) გაანგარიშდება ძირითადი და ყველაზე მარტივი დამოკიდებულების გამოყენებით:

$$W_{6,\%} = \frac{\alpha_{\%} \cdot W_{6, \text{მ}^3}}{W_{\text{ბრ,მ}^3}}, \quad (4.2.1)$$

სადაც $\alpha\%$ არის ნატანის მოცულობის ის წილი, რომელიც რჩება წყალსაცავის ტაფობში ერთი წლის მანძილზე; $W_{სტ,მ^3}$ - წყალსაცავის პირველადი მოცულობა, მ³.

საქართველოს მთის წყალსაცავების დაღამვის პროგნოზი სრულდება წყალსაცავების სამი ტიპისათვის: კალაპორტგარეთა (შევსებითი) წყალსაცავები, საშუალო დაწნევის ქვაბულის ტიპის და საშუალო და მაღალი დაწნევის ხეობის ტიპის. პროგნოზი სრულდება ანალიტიკური და ემპირიული დამოკიდებულებებისა და საყრდენი მრუდების მიხედვით, წყალსაცავის ტიპის შესაბამისად:

I ტიპის წყალსაცავები - მცირე დაღამვის კალაპორტგარეთა წყალსაცავებია. ნალექის დაგროვების წყაროები - მიმყვანი არხებიდან შემოსული წვრილი ნატანი და სანაპირო ზონის ეროზიულ-აბრაზიული პროცესების შედეგად წარმოქმნილი მასალა. ძირითადად იღამება არხების შესართავი უბნები. ამ ტიპის წყალსაცავებში დანალექის საშუალო წლიური მოცულობა შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$V_{დ.წ.} = \frac{\bar{\rho}_0 \bar{W}_6 \bar{P}_a}{\bar{\gamma} \cdot 10^3} \quad \text{ან} \quad V_{დ.წ.} = \frac{\bar{M}_R F_a \bar{P}_a}{\bar{\gamma}}, \quad (4.2.2)$$

სადაც ρ_0 არის წყალსაცავის ფარდობითი ნატანის შეკავების უნარი; \bar{M}_R - ნატანის ჩამონადენის საშუალო წლიური მოდული (ტ/კმ²); \bar{P}_a - წყალსაცავის ფარდობითი ნატანის შეკავების უნარი, რაც წარმოადგენს წყალსაცავის მოცულობის (W) ფარდობას წლიური ჩამონადენის ნორმასთან (\bar{W}); $\bar{\gamma}$ - ფსკერული დანალექის საშუალო სიმკვრივე. $\bar{\gamma} = \bar{\gamma}_{საწყ.} k_y$, რომელშიც ნალექების საშუალო საწყისი სიმკვრივე ($\bar{\gamma}_{საწყ.}$) განისაზღვრება დანალექების ფენის სიმძლავრისა (d) და ნატანის ფრაქციის საშუალო დიამეტრისაგან (d) დამოკიდებულებით (ცხრ. 4.2.1).

ცხრილი 4.2.1

δ , სმ	<30	30÷40	50÷100	100÷150	150÷200	200÷300	300÷350
d , მმ	0,02-0,1	1,00	1,05	1,07	1,08	1,09	1,11
$\bar{\gamma}$	<0,02	1,00	1,07	1,20	1,28	1,40	1,55

ნატანის გადაშვება ქვედა ბიეფში (კბ) განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$R_{კბ.} = 0,8R_0(1 - P_a)\bar{\gamma} \cdot 10^3. \quad (4.2.3)$$

II ტიპის წყალსაცავები – საშუალო დაწნევის ქვაბულის ტიპის წყალსაცავებია, რომლებშიც მდინარეთა ნატანი შეადგენს დანალექის 70-85%-ს, დანარჩენ 20-30%-ს – ფერდობული პროცესების (ეროზია, აბრაზია, მეწყერი, შვავი) პროდუქტი. დაკვირვებების მონაცემებით, ნალექის დაგროვების ინტენსივობა შეადგენს 0,20 მლნ.მ³-მდე წელიწადში. ფერდობული დაღამვის კოეფიციენტი აღწევს 0,0004±0,0005-ს. მოცემულ პირობებში რეკომენდებულია გაანგარიშების ორი ხერხის გამოყენება:

პირველი ხერხი – პირობითი დაღამვის $t_y > 20$ მაჩვენებლის დროს და სელიმენტაციური ბალანსის შემადგენელი ელემენტების მონაცემების არარსებობისას ($W_{სელ}, W_{ნ.გ.}, W_{ნ.ვ.}, W_{ეო}, W_{ნ.ნ.}, W_{გ}$ – შესაბამისად, დვარცოფის, ნაპირების გადაშენების, მეწყერისა და ზვავის, ეოლური დანალექის, სუსპენზიური ნაკადების, გარეცხვის მოცულობები) რეკომენდებულია ვისარგებლოთ გაანგარიშების ორი პერიოდისათვის:

– პირველი პერიოდის ბოლოს $W_{წ} = W_i t$, შეიძლება ჩავთვალოთ დამთავრებულად დროში $t_i = \frac{W_{წ} - 0,2W_{წ}}{W_R}$, როდესაც $W_{წ}$ –

წყალსაცავის სრული მოცულობა, $W_{წ}$ – საანგარიშო მრავალწლიური წყლის ჩამონადენი და W_R – შეტივტივებული ნატანის ჩამონადენი – გათანაბრდება.

– მეორე პერიოდში დაღამვის მოცულობა შეიძლება განისაზღვროს ბალანსის განტოლებით:

$$W_{წ} = W_{\max} \left[1 - \frac{\sum W - \left(\sum W - W_R \right) e^{\frac{t_i W_R}{W_{წ.წ.}}}}{W_R e^{\frac{t_i W_R}{W_{წ.წ.}}}} \right], \quad (4.2.4)$$

სადაც $W = W_{წ} - W_{გ}$, იმ პირობით, რომ $W_{გ} = L \frac{Q_{გ}}{10^2 U} \cdot \sum W_{წ.წ.}$, რომელ-

შიც $W_{წ.წ.}$ – ჰიდრაულიკური ჩარეცხვით მოცილებული გრუნტის მოცულობაა; $Q_{გ}$ – კალაპოტის მაფორმირებელი ხარჯი, რომელიც შეესაბამება ნატანის შიდაწლიური განაწილების 10 დღიან უზრუნველყოფას.

მეორე ხერხი – ანალოგ წყალსაცავების არსებობისას, დაღამვის გაანგარიშება შეიძლება შესრულდეს პროცესის განვითარების ინტენსიურობის გრაფიკების მიხედვით. წყალსაცავები ანალოგად შეიძლება მიღებულ იქნეს შემდეგი პირობების შესრულების შემთხვევაში:

- ობიექტის გეოგრაფიული სიახლოვე; ჩამონადენის ფორმირების პირობების ერთგვაროვნება და არა უმეტეს 15-20% განსხვავებისა წყალსაცავის ფარდობით პარამეტრებში $L_{\text{წყ}}/\bar{B}_{\text{წყ}}$, $W_{\text{სრ}}/F_{\text{წყ}}$.

ტაფობის ფარდობითი პარამეტრების შემდეგი მნიშვნელობებისას: $L_{\text{წყ}}/\bar{B}_{\text{წყ}} \cong 4 \div 12$; $W_{\text{სრ}}/F_{\text{წყ}} \cong 5 \div 15$ და ჩამონადენის მახასიათებლების თანაფარდობისას $W_{\text{სრ}}/W_{\text{გ}} \cong (0,5 \div 12) \cdot 10^4$, საჭიროა გამოვიყენოთ ემპირიული დამოკიდებულება:

$$W_{\text{გ}} = 0,022W_{\text{სრ}}t_i^{0,63}. \quad (4.2.5)$$

III ტიპს წარმოადგენს საშუალო დაწნევის ხეობის წყალსაცავების ჯგუფი, რომლებშიც მდინარეთა ნატანის/დანალექის წილი შეადგენს 85÷96%-ს, ხოლო წყალსაცავის ტაფობის ფარდობითი პარამეტრებია: $L_{\text{წყ}}/\bar{B}_{\text{წყ}} = 13 \div 25$ და $W_{\text{სრ}}/F_{\text{წყ}} = 15 \div 25$, ჩამონადენის მახასიათებლების თანაფარდობისას $W_{\text{სრ}}/W_{\text{გ}} = (1,2 \div 2,6) \cdot 10^4$. ინტენსიურად ვითარდება ორივე პროცესი: დალაშქვა და დალექვა.

დალაშქვის ხარისხის შესაფასებლად რეკომენდებულია გამოვიყენოთ ემპირიული დამოკიდებულება ან საყრდენი მრუდები:

$$W_{\text{გ}} = 0,218W_{\text{სრ}}t_i^{0,41}. \quad (4.2.6)$$

IV ტიპის წყალსაცავები მცირედ გამდინარე, ღრმაწყლიანი წყალსაცავებია, რომელთა ტაფობის შევსებაში მონაწილეობას იღებს, პრაქტიკულად, ყველა სახის ნატანი: მდინარის, ეროზიული, ნაპირის ჩამონგრევა. ნატანის დალექვა აღინიშნება შეტბორვის მთელ სიგრძეზე, ნალექის ყველაზე მეტი სისქე ფიქსირდება კაშხლის მიმდებარე უბანზე, წყალსაცავის ტაფობის ფარდობითი პარამეტრებია: $L_{\text{წყ}}/\bar{B}_{\text{წყ}} = 25 \div 40$ და $W_{\text{სრ}}/F_{\text{წყ}} = 25 \div 80$, ჩამონადენის მახასიათებლების თანაფარდობისას $W_{\text{სრ.მ.}}/W_{\text{გ}} = (2,5 \div 4,0) \cdot 10^4$. აკუმულაციის ინტენსივობა შეადგენს საშუალოდ $(0,004 \div 0,005)W_{\text{სრ}}$ -მდე წელიწადში.

პრაქტიკულად, ნალექის საერთო მოცულობა (დალაშქვის და დალექვის) შეიძლება განისაზღვროს დამოკიდებულებით:

$$W_{\text{სრ.გ.}} = W_{\text{სრ}}t_i. \quad (4.2.7)$$

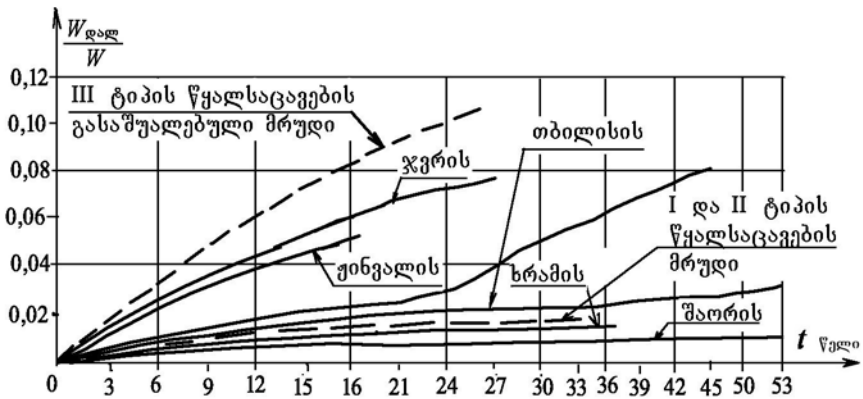
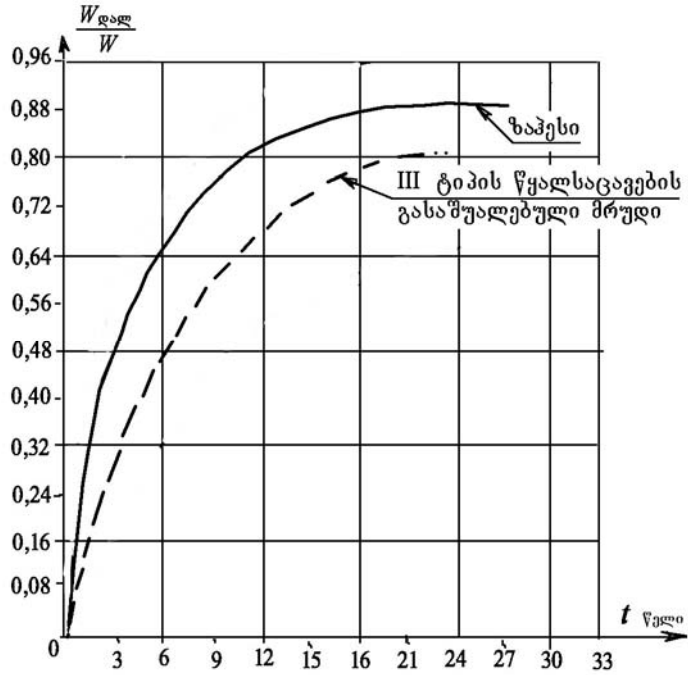
დალაშქვის საერთო მოცულობის შესაფასებლად შეიძლება გამოვიყენოთ დამოკიდებულება:

$$W_{\text{გ.დალ.}} = 0,005W_{\text{სრ.გ.}}t_i^{0,35}. \quad (4.2.8)$$

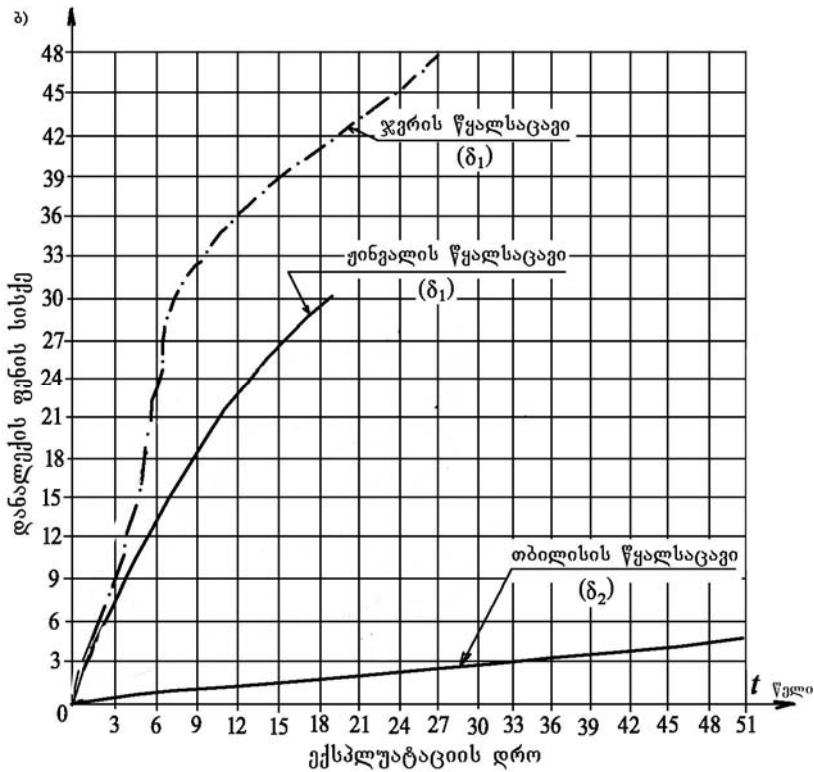
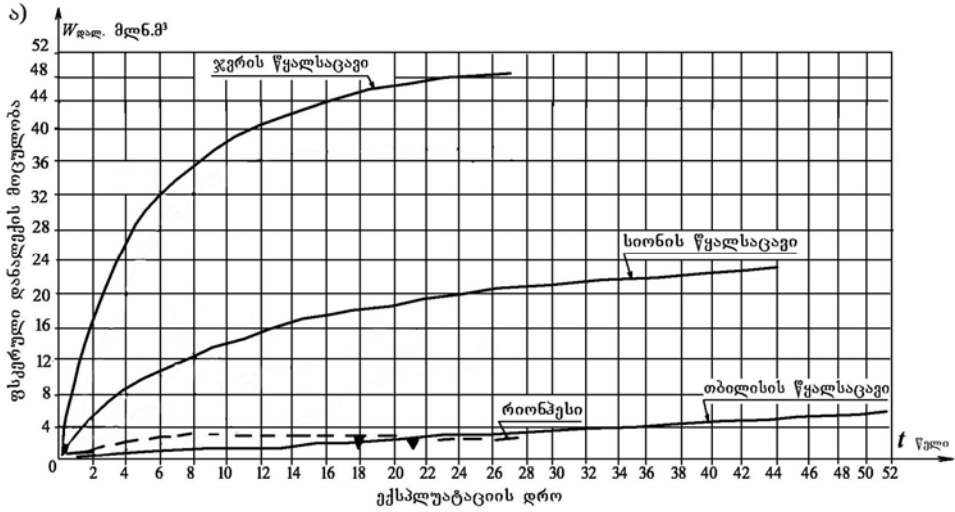
ამასთან, წყალსაცავის ფუნქციონირების ვადა შეიძლება განისაზღვროს საანგარიშო ფორმულით:

$$W_{\max} = a \cdot W_{\text{სრ.ბ.}} \cdot t^a \quad (4.2.9)$$

დანადგის მოცულობის დროში ცვლილების ანგარიში მარტივდება გრაფიკების გამოყენებით, რომლებიც შედგენილია საქართველოს წყალსაცავებზე ჩატარებული სავსე კვლევების დროს (ნახ. 4.2.2, 4.2.3) და რაოდენობრივი მაჩვენებლების (ცხრ. 4.2.2) გამოყენებით.



ნახ. 4.2.2. სხვადასხვა ტიპის წყალსაცავებზე ფარდობითი დაღამვის ცვლილება



ნახ. 4.2.3. მთის წყალსაცავების დაღამვისა და დალექვის ძირითადი მახასიათებლები: ა) დანალექის მოცულობის ცვლილება (∇ - ჩარეცხვის მახასიათებელი); ბ) ფსკერული დანალექის სისქის ცვლილება (δ_1 - კაშხალთან, δ_2 - შუა ნაწილში, δ_3 - ზემო ნაწილში)

საქართველოს წყალსაცავების დალექვის ძირითადი მაჩვენებლები

№	წყალსაცავი	დაკვირვების პერიოდი (აშენებიდან)	ტაფობის მოცულობა (მლნ.მ ³) (საპროექტო)		მოცულობა, $W_{დალ}$		ინტენსიუობა, მლნ.მ ³ /წელი	წყალსაცავის ფარდობითი დალექვა $\frac{W_{დალ}}{W_{სრ}}$
			სრული $W_{სრ}$	სასარგებლო $W_{სას}$	მლნ.მ ³	%%		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ჯვრის	11(1982)	1090,0	662,0	41,65	3,82	3,73	0,04
		27(2005)	1090,0	662,0	90,0	8,30	3,06	0,08
2	სიონის	17(1980)	325,0	300,0	4,25	1,30	0,25	0,01
		30(1993)	325,0	300,0	13,09	4,02	0,44	0,04
		45(2008)	325,0	300,0	24,67	7,60	0,55	0,07
3	თბილისის	25(1981)	308,0	155,0	3,75	1,21	0,15	0,01
		53(2008)	215,0	65,5	6,0	2,8	0,20	0,03
4	წალკის	30(1979)	312,0	292,0	3,84	1,23	0,128	0,01
5	ზაჰესი	13(1940)	12,0	3,0	10,08	79,6	0,78	0,80
6	ქინვალის	3(1988)	520,0	370,0	5,10	0,98	1,70	0,01
		18(2003)	520,0	370,0	30,6	8,0	1,70	0,06
7	შაორის	20(1975)	71,0	68,0	0,76	1,07	0,038	0,01
8	ტყიბულის	19(1975)	84,0	62,0	10,13	12,0	0,53	0,10
9	გუმათის	11(1969)	39,0	13,0	35,0	89,7	2,96	0,90
10	ლაჯანურის	20(1980)	24,0	16,0	13,2	55,0	0,66	0,60
11	ვარციხის	5(1981)	14,6	2,4	9,2	62,8	1,96	0,60

მთის წყალსაცავებზე დალაშქვისა და დალექვის პროცესების განვითარების კანონზომიერებები დაიყვანება შემდეგზე:

ნატურული დაკვირვებების მონაცემებით მთის წყალსაცავებზე ნატანის ჩამონადენის ძირითად წყაროს წარმოადგენს შენაკადების გამონატანი. ამასთან, წვრილფრაქციული ნატანის ძირითადი მასა გროვდება კაშხლის მიმდებარე უბანზე. ფსკერული ნატანისაგან ფორმირდება დალექვის პრიზმა შეტბორვის მრუდის ზონაში. დანალექის ფორმირების ხასიათი, გარდა მკვდარი მოცულობის შევსებისა, განსაზღვრავს წყლის სარკის შემცირებას ზედა უბანზე, რეგულირების პრიზმის საზღვრებში.

დაბალი დაწნევის ჰიდროკვანძების წყალსაცავების ზემო ნაწილის დალექვის პროგნოზირებისას საჭიროა განისაზღვროს: შეტბორვის სიგრძე, აკუმულირებული ნატანის მოცულობა, ბიეფის ზღვრულ

მოცულობამდე ($W_{\text{ხღვრ.}}$) დაღეკვის დრო და ფორმირებული კალაპოტის ჰიდრაულიკური ელემენტები. აუცილებელია გავითვალისწინოთ, რომ ამ პროცესში, ძირითადად, მონაწილეობს ფსკერული ნატანი. დაღეკვის პროცესის ფორმირების მთლიანი ციკლი რეკომენდებულია გაიყოს ორ ეტაპად:

I ეტაპი – პროცესის დაწყებიდან ზედა ბიეფის დაღეკვის მომენტამდე, კაშხლის თხემის დონემდე. ამ პერიოდში მდინარის მიერ შემოტანილი ნატანი მთლიანად რჩება ზედა ბიეფში;

II ეტაპი – ზედა ბიეფში შემოსული და ქვედა ბიეფში გადატანილი ნატანის ბალანსის დამყარება.

ფორმირებული ფსკერის ქანობი, ნაღეკის პრიზმის სიმაღლე, ნაღეკის პრიზმის სიგრძე, კაშხლიდან ნაღეკის გავრცელების სიგრძე, პრიზმის მოცულობა, ფორმირებულ უბანზე ნაკადის სიღრმე, ტრანზიტული ქანობები და ა.შ. განისაზღვრება კონკრეტულად, დროის საანგარიშო პერიოდებისათვის. მაგალითად, I ეტაპის დამთავრების შესაბამისი დრო (წლებში), განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$T = 0,90 \frac{365 \times T_{\text{ფაქტ.}}}{120} = 2,73 T_{\text{ფაქტ.}} \quad (4.2.10)$$

ემპირიულ-თეორიული დამოკიდებულებებით განსაზღვრული I ეტაპის ფორმირების პარამეტრები საფუძვლად უნდა დაედოს ბიეფის ფორმირების II ეტაპის გაანგარიშებას. ამ პერიოდში ნატანის ტრანზიტული ხარჯის განსაზღვრა შეიძლება შესრულდეს დამოკიდებულებით:

$$Q_{H(\text{ბ.ს.})} = \frac{10,7(1+I)d_{\text{საშ.ი}}}{H_{\text{საშ.ი}} \left[\frac{\sqrt{H_{\text{საშ.ი}} - t_{\text{საშ.ი}}}}{v_{\text{ი}} \lg \frac{8,8H I_{\text{ი}}}{d_{\text{ხღვრ.}} - 1}} \right]}, \quad (4.2.11)$$

ხოლო დანაღეკის პრიზმის სიგრძე – დამოკიდებულებით:

$$L_{\text{დან.ი}} = L_i + \frac{P}{N(i z - \gamma_{\text{დან.ი}})} \quad (4.2.12)$$

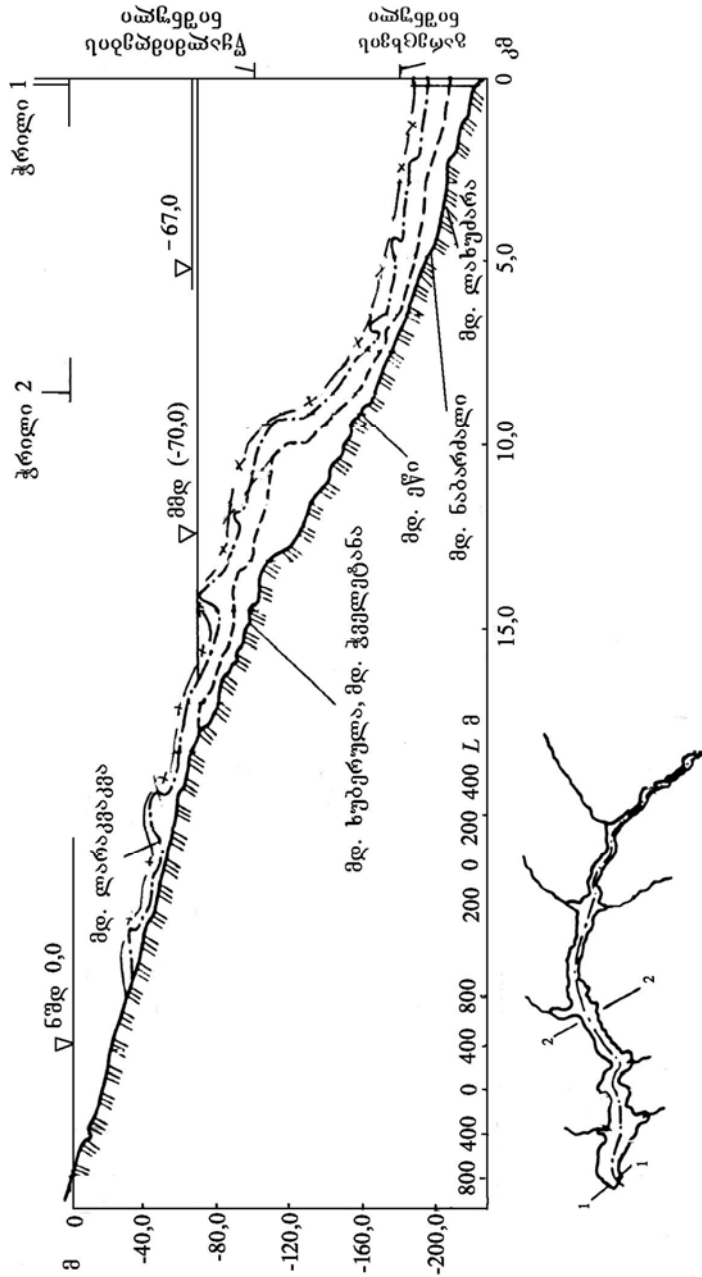
ანალოგიურად განისაზღვრება პროცესის განვითარების დანარჩენი პარამეტრებიც.

წყალსაცავის ზედა ნაწილის დაღეკვის გაანგარიშებისას აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნეს რეგრესიული აკუმულაცია (ნაღეკის გადაადგილება დინების საწინააღმდეგოდ).

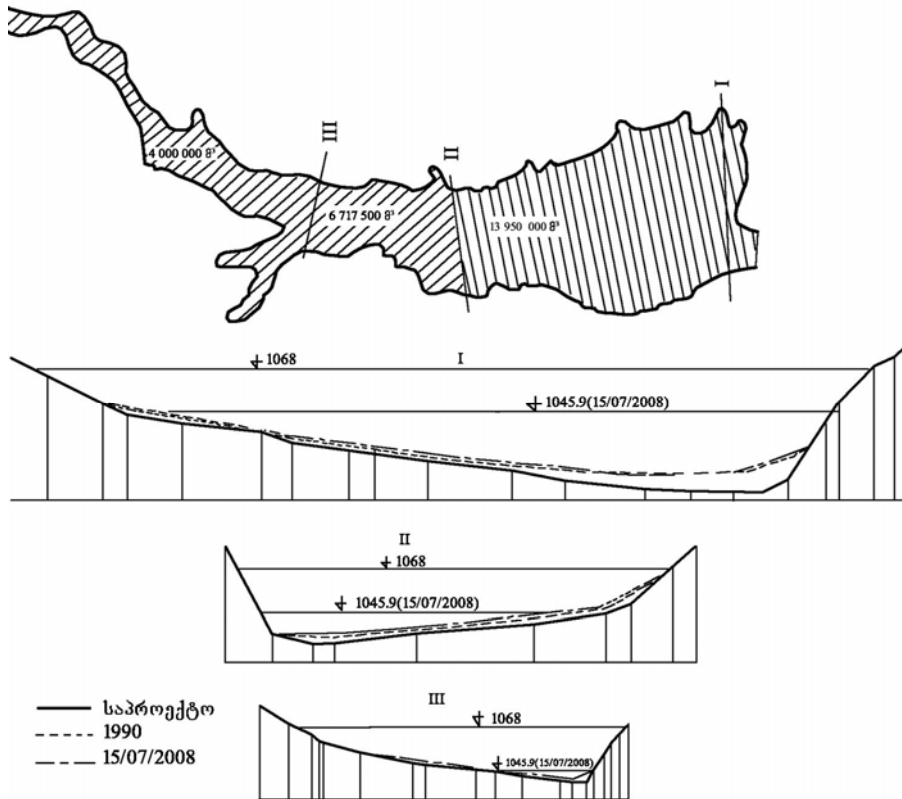
ყველაზე დიდი არაგადაადგილებადი ნატანის დიამეტრის სიდიდე განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$d_{\text{max}_H} = \frac{\bar{V}^2}{0,045C^2} \quad (4.2.13)$$

ასეთი მიდგომით, გაანგარიშების საბოლოო ეტაპზე უნდა შესრულდეს ფრაქციული შემაღვენლობის პროცენტული თანაფარდობის გადანგარიშება დანალექში ფრაქციის საშუალო დიამეტრთან $\bar{d}_{\text{დან.}}$ დამოკიდებულებაში. ნატანის დაგროვების ზედაპირის მრუდები ანალოგიური ხასიათისაა (ნახ. 4.2.4, 4.2.5, 4.2.6).



ნახ. 4.2.4. ჯვრის წყალსაცავის ტაფობის დაღეჭვის დინამიკა
 — 1970 წ.; - - - - 1982 წ.; - . - . - 1985 წ.; -x-x- 2005 წ.

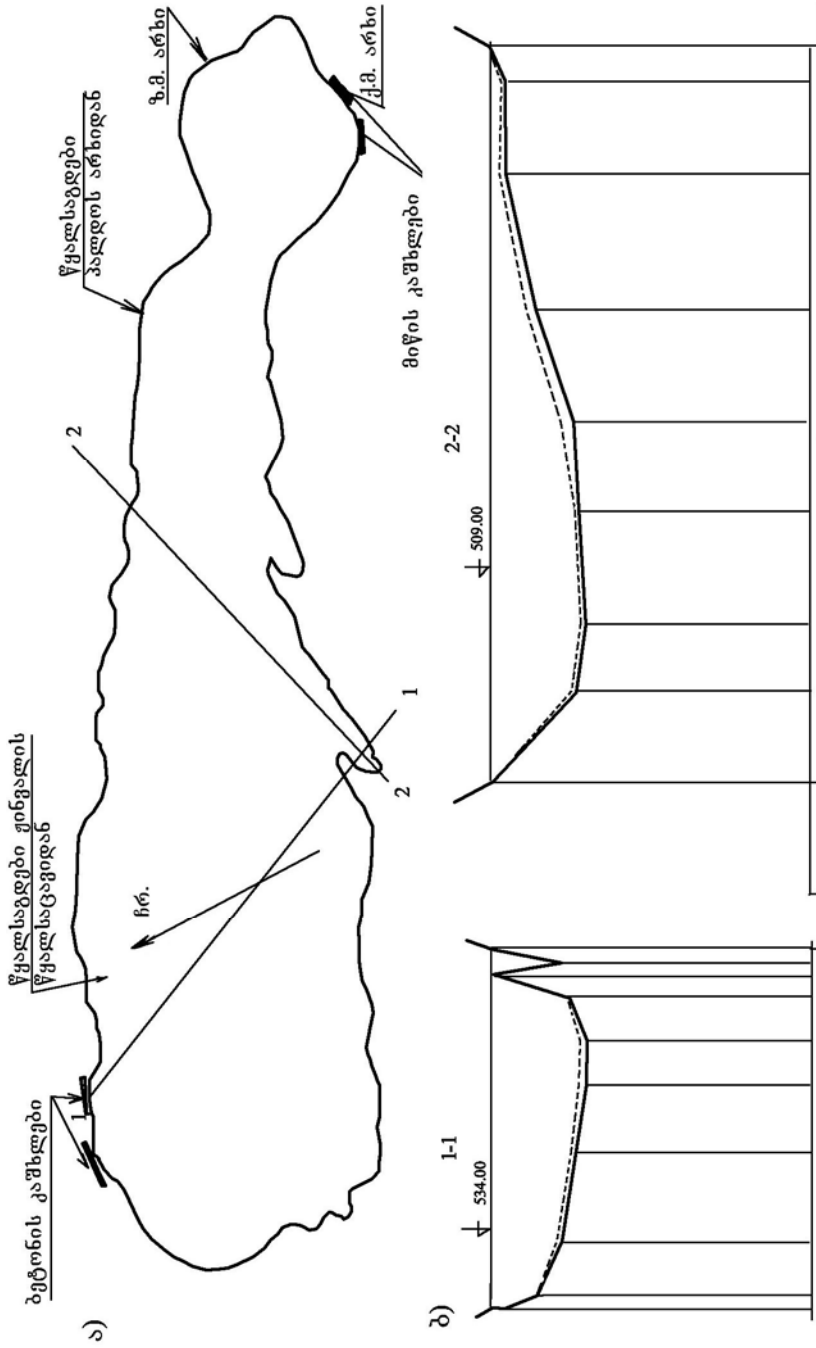


ნახ. 4.2.5. სიონის წყალსაცავის დაღამებისა და დაღეჭვის ნატურული გაზომვების შედეგები (2008 წ.)

ა) წყალსაცავის დაღამებისა და დაღეჭვის გაზომვის კვეთების მდებარეობა; ბ) წყალსაცავის დაღამებისა და დაღეჭვის გაზომვის განივი პროფილები

ანგარიში უნდა წარმოებდეს კაშხლიდან მდინარის დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით, იმ უბნამდე, სადაც წყლის დონე ემთხვევა თავისუფალი ნაკადის დონეს, წყლის მიღებული საანგარიშო ხარჯისას. ასეთი ტიპის გაანგარიშებებისას წყლის დონეთა შესაბამისობა შეტბორვის დონის ზონაში მიიღწევა სიმქისის კოეფიციენტის (n) შერჩევით. ამ კოეფიციენტის მნიშვნელობა საწყისი პერიოდისათვის შეიძლება განისაზღვროს *შეზი-მანინგის* ფორმულით.

დაკვირვებების მონაცემების არარსებობის შემთხვევაში მოცემული პარამეტრის მნიშვნელობა შეიძლება განისაზღვროს ცხრ. 4.2.3-ით. მოცემულ გაანგარიშებებში სიმქისის კოეფიციენტი დაღამული წყალსაცავისათვის შეიძლება განისაზღვროს ფრაქციის სიმსხოს ($n \cong 0,03d^{1/6}$) ან ქანობის ($n = 0,4I^{0,3}$) მიხედვით.



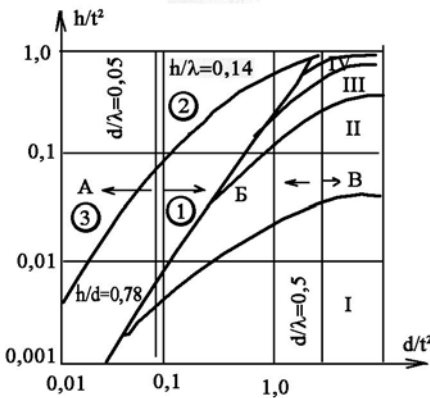
ნახ. 4.2.6. თბილისის წყალსაცავის დაღამების და დაღამების ნატურული გაზომვების შედეგები (2008 წ.)
 ა) წყალსაცავის დაღამების და დაღამების გაზომვის კვეთების მდებარეობა; ბ) წყალსაცავის დაღამების და დაღამების გაზომვის განივი პროექტები; — საპროექტო, - - - - 2009 წ.

ძირითადი ტიპის მდინარეთა სიმქისის კოეფიციენტები

კატეგორია	კალაპოტის დახასიათება	კოეფიციენტის მნიშვნელობა
1	ბუნებრივი კალაპოტები საკმაოდ ხელშემწყობ პირობებში	0,025
2	ვაკის ტიპის შენაკადების კალაპოტები, შედარებით სუფთა	0,033
3	დიდი და საშუალო მდინარეების კალაპოტები, დაკლანჩილი, დანაგვიანებული	0,050
4	მთის მდინარეთა კალაპოტები, დანაგვიანებული, დაკლანჩილი, აგებული რიყის ქვებითა და კენჭებით ან დროებითი შენაკადები	0,067

4.3. მთის წყალსაცავების ქარ-ტალღური რეჟიმის პროგნოზირება

მთის წყალსაცავები – ხმელეთის სრულიად ახალი წყლის ობიექტებია, შიდა წყალსატევური პროცესების ფორმირების განსხვავებული პირობებით, რამაც განაპირობა მათი პროგნოზირების განსაკუთრებული მეთოდის დამუშავება. ტალღების პროგნოზირების არსებული მეთოდების გამოყენება გართულებულია თეორიების მრავალსახეობით (ნახ. 4.3.1).



ნახ. 4.3.1. სხვადასხვა ტალღური თეორიების გამოყენების საზღვრები.

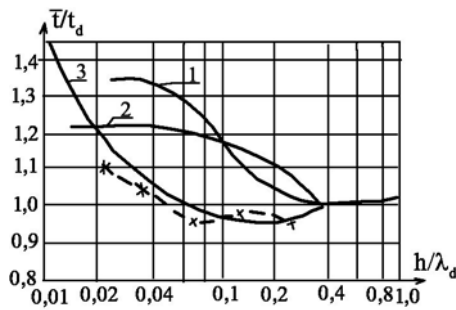
A – ტალღები წყალმარჩს წყალში; B – ტალღები შორისულ სიღრმეზე; B – ტალღები „ღრმა წყალზე“; I – ერის ტალღები (წრფივი თეორია); II – სტოქსის ტალღები (მე-2 მიახლოებით); III – სტოქსის ტალღები (მე-3 მიახლოებით); IV – სტოქსის ტალღები (მე-4 მიახლოებით); 1 – ენოიდალური ტალღების თეორია; 2 – მრუდი, რომელიც შეესაბამება ტალღების ჩამოქცევის კრიტერიუმს; 3 – ზღვრული ტალღები „ღრმა წყალზე“; 4 – მიშის ფორმულა

როგორც ვხედავთ, ადეკვატური საწყისი პირობების დროსაც კი, სხვადასხვა თეორიების გამოყენების საზღვრები დამრეც ფერდობებზე

($\alpha < 8^\circ$) ჯერ კიდევ გაურკვეველი იყო. ამ მონოგრაფიის ავტორებმა თავისი წვლილი შეიტანეს მთის წყალსაცავების ღრმა და წყალმარჩხ ზონებში შიდა წყალსატევური პროცესების ფორმირებისა და განვითარების შესწავლაში [И.К. Иорданишвили, 1985÷2009; К.Т. Иорданишвили, 2000÷2009].

8°-ზე ციცაბო ფერდობებზე ტალღის პერიოდი და სიგრძე თითქმის არ იცვლება ($t = t_d$; $\lambda = \lambda_d$), რაც შეეხება ტალღის სიმაღლეს (h) – იგი მნიშვნელოვან ტრანსფორმაციას განიცდის ზონების შესაბამისად.

მთის წყალსაცავებზე ტალღის პერიოდის ტრანსფორმაციაზე ჩატარებულმა სავსელ დაკვირვებებმა აჩვენა მათი საკმაოდ დამთხვევა ი.მ. კრილოვის რეკომენდაციებთან (ნახ. 4.3.2) [И.К. Иорданишвили, 2004].



ნახ. 4.3.2. ტალღის პერიოდის ტრანსფორმაციის შედარება სხვადასხვა მეგლევარების მიერ
1 – ი.გ. ვილენსკი; 2 – ა.ა. ივანოვი;
3 – ი.მ. კრილოვი; * – დაკვირვებები საქართველოს მთის წყალსაცავებზე

ჩამოქცევის ზონაში ტალღების პარამეტრები განისაზღვრება ჩამოქცევის ზონის ორი ნაწილისათვის ცალ-ცალკე – კრიტიკულ კვეთში და ჩამოქცევის კვეთში. ტალღის სიმაღლე (h_{cr}) და სიღრმე (d_{cr}) განისაზღვრება დამატებითი ფაქტორების (m , λ/h) გათვალისწინებით, ხოლო სიღრმე ჩამოქცევის ზონაში (z) – ტალღის სიმაღლის, სიგრძისა და ფერდობის დახრილობის გათვალისწინებით.

ზვირთცემის ზონაში განისაზღვრება ფერდზე ტალღის აგორების (V_{runup}) და ჩამოგორების ($V_{rundown}$) სიჩქარე, ტალღის აგორების სიმაღლე (h_{runup}) და ტალღური მოდენის სიმაღლე (h_{set}).

მთის წყალსაცავებზე ფსკერული ტალღური ნაკადის სიჩქარე (V_{runup}) შეიძლება განისაზღვროს ტალღების წრფივი თეორიის გამოყენებით. ფერდობის გარეცხვის ქვედა საზღვარი (a_2), სადაც ტალღური მოძრაობის ფსკერული სიჩქარე $V < V_{ცხსაშ.}$ – მთის წყალსაცავების პირობებში განისაზღვრება ფერდობის დახრილობის (α) და გრუნტების თავისებურებების გათვალისწინებით. ამ მოთხოვნებს პასუხობს გ.ს. ბაშკიროვისა და ნ.გ. ვარაზაშვილის მეთოდის გამოყენებით [1972 წ.].

მთის წყალსაცავების პირობებში, ტალღების მაქსიმალური

გაქანების პირობებშიც კი, რომლის მნიშვნელობა არ აღემატება 10 კმ-ს, **ქარისმიერი მოდენა** უმნიშვნელოა ($\leq 0,001h_d$) და პრაქტიკულ გაანგარიშებებში შეიძლება მისი უგულებელყოფა.

ტალღური მოდენის სიდიდე კი მთის წყალსაცავებზე მნიშვნელოვანია და ტოლია $0,5h_{runp}$. ტალღური მოდენის პრაქტიკული გაანგარიშებები ხორციელდება შემდეგი ფორმულით:

$$h_{set}^{ტალღ.} = 0,1h_d + \frac{0,5}{m}. \quad (4.3.1)$$

ა) მთის წყალსაცავებზე ქარ-ტალღური პროცესების პროგნოზირება

ტალღური პროცესების პროგნოზირება მთის წყალსაცავებზე წარმოება ფაქტორების გამოვლინების, სისტემური ანალიზის მეთოდების გამოყენებით მათი რაოდენობრივი ზემოქმედების შეფასებით. ესენია: ფაქტორული და კორელაციური ანალიზი, სახეთა გარჩევის თეორია და ექსპერტული შეფასების მეთოდები.

მთის წყალსაცავების „ღრმა წყალზე“ ჩატარებული დაკვირვებების ანალიზის საფუძველზე შემოთავაზებულია ტალღის საშუალო სიმაღლის საანგარიშო ფორმულა (ნახ. 4.3.3):

$$h_d = A_{\varphi} \cdot V_W^{1,2} \cdot L^{0,4}, \quad (4.3.2)$$

სადაც $A_{\varphi} = (0,022 \div 0,016)a_p$; a_p – წყალსაცავის მთიანობაზე დამოკიდებული კოეფიციენტი. მათი მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილში. 1.4.5; პრაქტიკული გაანგარიშებებისათვის შეიძლება მივიღოთ, რომ $A_{\varphi} = 0,012$, ხოლო წყალსაცავის მთიანობაზე დამოკიდებული (A_{φ}) განისაზღვრება მაკორექტირებელი კოეფიციენტის გამოყენებით:

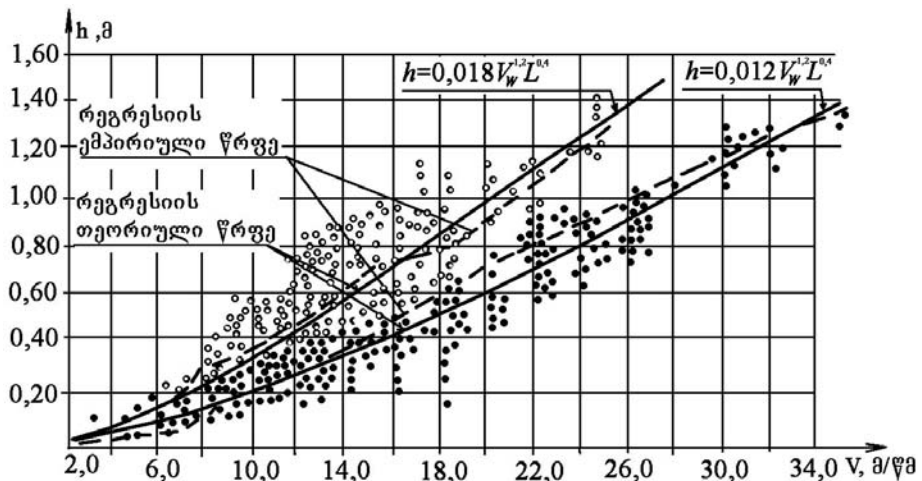
a_p	0,78	0,51	0,37	0,27	0,16
A_{φ}	0,010	0,012	0,014	0,016	0,018

V_W და L – ქარის სიჩქარე (მ/წმ) და ტალღების გაქანების სიგრძე (კმ), მათი მნიშვნელობები დგინდება ნახ. 4.3.3-ის გამოყენებით.

i -პროცენტიანი უზრუნველყოფის დროს ტალღის ელემენტები განისაზღვრება ტალღის ელემენტის საშუალო მნიშვნელობის გამრავლებით k_i კოეფიციენტზე (ცხრ. 4.3.1).

ტალღის პერიოდი (t) „ღრმა წყალზე“ განისაზღვრება რეგრესიის ემპირიული წრფის (ნახ. 3.6.17) ან $t = 4,08h_d^{0,59}$ დამოკიდებულების

გამოყენებით, ტალღის სიგრძე – $\bar{\lambda}_d = \frac{0,42t^2}{2\pi}$.



ნახ. 4.3.3. მთის წყალსაცავებში ტალღების სიმაღლის დამოკიდებულება ქარის სიჩქარეზე სხვადასხვა მონაცემების სტატისტიკური დამუშავებისას (● – თბილისის წყალსაცავზე; ○ – ხრამის წყალსაცავზე)

ცხრილი 4.3.1

ტალღების ელემენტების საანგარიშო გადამყვანი კოეფიციენტები

ტალღის ელემენტის ფარდობა	ტალღების ელემენტების ფარდობითი მნიშვნელობა სხვადასხვა ხარისხის უზრუნველყოფისათვის									შენიშვნა
	1%	2%	5%	10%	20%	30%	50%	70%	95%	
$\lambda_i / \bar{\lambda}$	1,82	1,69	1,61	1,50	1,32	1,13	0,98	0,70	0,41	–
t_i / \bar{t}	1,64	1,59	1,49	1,38	1,22	1,10	0,96	0,82	0,38	–
h_i / h_d ($h_d / d = 0,05$ სიღრმეზე)	2,12	1,97	1,88	1,77	1,48	1,23	0,95	0,61	0,23	მაქს.
–,–	1,59	1,48	1,43	1,35	1,25	1,13	0,97	0,71	0,45	მინ.
–,–	1,79	1,68	1,57	1,47	1,31	1,18	0,96	0,81	0,38	საშ.
h_i / h_d ($h_d / d = 0,25$ სიღრმეზე)	2,01	1,87	1,71	1,55	1,36	1,21	0,98	0,71	0,40	მაქს.
h_i / h_d ($h_d / d = 0,50$ სიღრმეზე)	1,63	1,51	1,46	1,37	1,25	1,16	1,01	0,86	0,63	მაქს.

ფერდობის დახრილობის ცვლილებისას იცვლება როგორც ტალღის სიმაღლის ტრანსფორმაციის ხასიათი, ისე ტალღური ზედაპირის ფორმა (ნახ. 4.3.4; ცხრ. 4.3.2).

საანგარიშო ჯგუფების გამოყოფა ფერდების ქანობის მიხედვით

($h_d/\lambda_d = 0,028 \div 0,055$ -ის დროს)

ჯგუფი	ფერდის ქანობის გრადაცია	ფერდის ქანობი ($m = \text{ctg } \alpha$)	ტალღის ტრანსფორმაციის ხასიათი	გრაფიკული დახასიათება ($h/h_j = \lambda(d/\lambda_j)$)
1	2	3	4	5
I	ძალიან დამრეცი	18-ზე მეტი	ქიმის სამმაგი ან ორმაგი ჩამოქცევა ნაწილაკების ორბიტალური მოძრაობის აღდგენით	პარაბოლები სიმეტრიის ვერტიკალური ღერძით
II	დამრეცი	18÷9,5	ერთჯერადი ჩამოქცევა მკვეთრად გამოხატული მიგორვით	პარაბოლური ტიპის ($y = x^{-m/n}$) მრუდები
III	საშუალო დამრეცობის	9,5÷6,3	ერთჯერადი ჩამოქცევა, აგორებული ნაკადის ფორმირება	პარაბოლა სიმეტრიის პორიზონტალური ღერძით $y = \pm \sqrt{a^{x+b}}$
IV	ციცაბო	6,2÷3,1	---	მეორე ჯგუფის მსგავსი მრუდები მათი დასაწყისის გადაადგილებით ($0,08 \div 0,001$) d/λ_d ზონაში
V	ძალიან ციცაბო	3,0÷1,5	ჩამოქცევა ყოველთვის არაა გამოხატული	თითქმის სწორხაზოვანი მრუდები
VI	მკვეთრად ციცაბო	1,5-ზე ნაკლები	ქიმის ჩამოქცევა თითქმის არ შეიმჩნევა, მდგრადი ტალღების წარმოქმნა	ჰიპერბოლა y ღერძის ასიმპტოტით

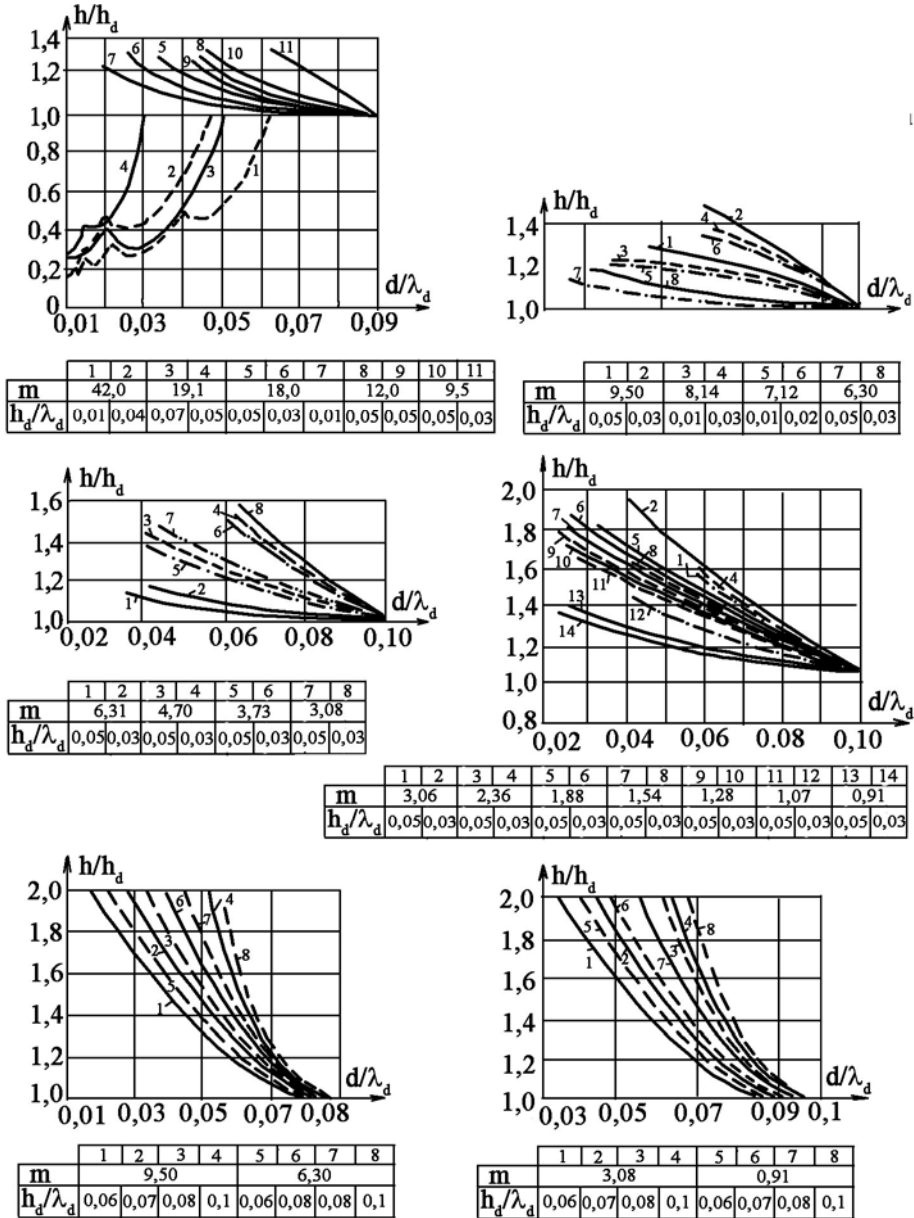
აგორების მიერ შემოთავაზებულია პროგნოსტიკული დამოკიდებულებები, რომელთა მეშვეობით შესაძლებელია ტალღების ელემენტების გაანგარიშება ფერდობის ქანობის ზემოთ მოყვანილი გრადაციის მიხედვით.

ტრანსფორმაციის ზონაში n -უზრუნველყოფის ტალღის სიმაღლე ($h_{i,n}$), დომინირებული ფაქტორების გამოყენებით, განისაზღვრება დამოკიდებულებებით:

$$h_{i,n} = h_d \cdot f(h_i/h_d) \cdot k_r \cdot k_n, \tag{4.3.3}$$

სადაც $f(h_i/h_d) = k \cdot f(\lambda_d/h_d) \cdot f(m) \cdot f(d/\lambda_d)$ და იანგარიშება ფორმულებით (ცხრ. 4.3.3), დამხმარე გრაფიკებით (ნახ. 4.3.5) და ნომოგრამების (ნახ. 4.3.6) გამოყენებით; (k)-ს მნიშვნელობები

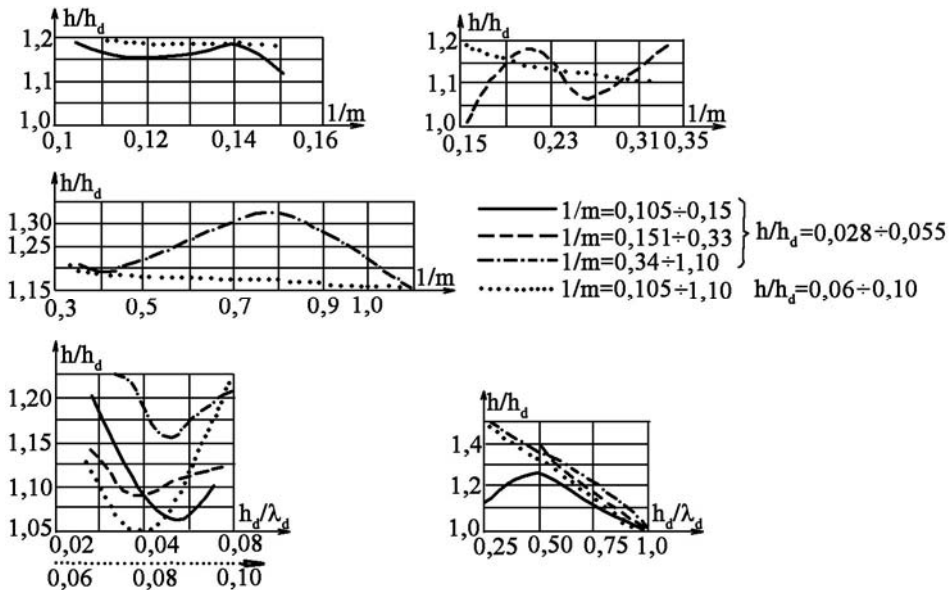
დგინდება ცხრ. 4.3.4-ის გამოყენებით; k_r – ფერდის ზედაპირის სიმქისის კოეფიციენტი; k_n – ტალღების რეჟიმის უზრუნველყოფის კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობებია: $k_n^{0,1\%} = 0,89$, $k_n^{1\%} = 0,71$, $k_n^{2\%} = 0,69$, $k_n^{5\%} = 0,63$, $k_n^{10\%} = 0,59$, $k_n^{20\%} = 0,53$, $k_n^{30\%} = 0,52$, $k_n^{70\%} = 0,39$.



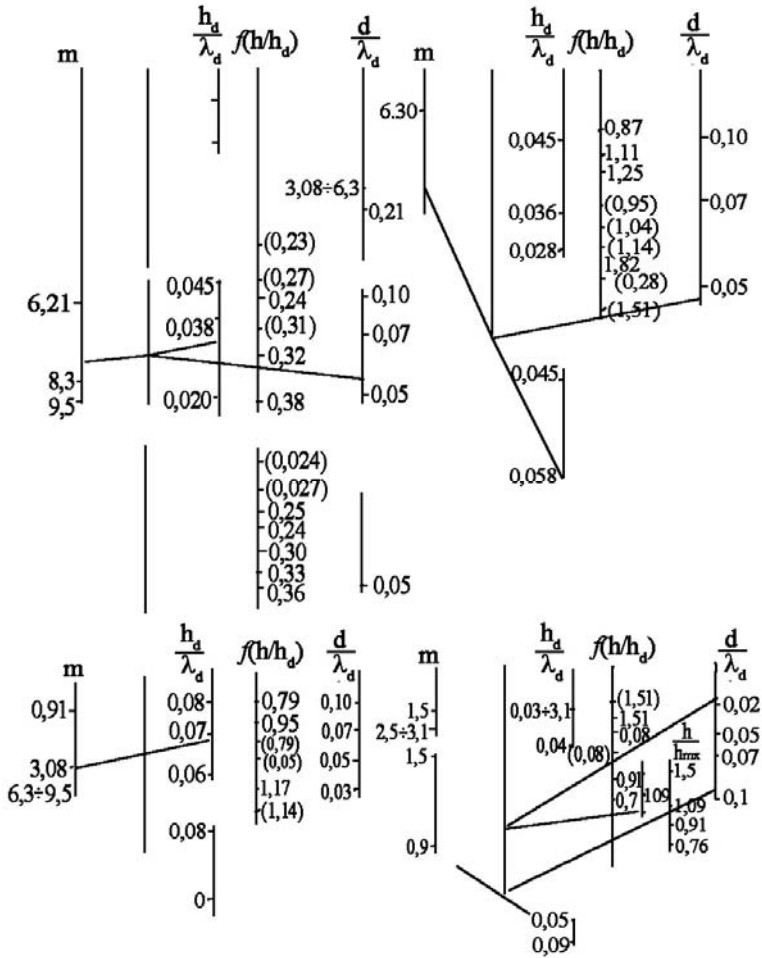
ნახ. 4.3.4. ტალღის სიმაღლის ტრანსფორმაცია

ტრანსფორმირებული ტალღის სიმაღლის ცვლილების
ემპირიული ფორმულები

$\frac{h_d}{\lambda_d}$	m	$\frac{h}{h_d} = k \cdot f\left(\frac{d}{\lambda_d}\right) \cdot f(m) \cdot f\left(\frac{h_d}{\lambda_d}\right)$
1	2	3
$0,03 \div 0,05$	$9,51 \div 6,31$	$h/h_d = 0,8[-144,7(d/\lambda_d)^2 + 16,7(d/\lambda_d) + 0,8] \cdot [-7375,9(1/m)^3 + 2711,3(1/m)^2 - 300,8(1/m) + 144] \cdot [457,1(h_d/\lambda_d)^2 - 43,6(h_d/\lambda_d) + 2,2]$
$0,03 \div 0,05$	$6,30 \div 3,08$	$h/h_d = 0,8[558,4(d/\lambda_d)^2 - 77,2(d/\lambda_d) + 3,8] \cdot [567,9(1/m)^3 - 422,3(1/m)^2 + 101,4(1/m) - 6,7] \cdot [240,8(h_d/\lambda_d)^2 - 21,7(h_d/\lambda_d) + 1,6]$
$0,03 \div 0,05$	$3,07 \div 0,9$	$h/h_d = 0,7[-61,3(d/\lambda_d)^2 + 1,1(d/\lambda_d) + 1,5] \cdot [1,1(1/m)^3 - 9,0(1/m)^2 + 5,7(1/m) + 0,3] \cdot [288,3(h_d/\lambda_d)^2 - 26,9(h_d/\lambda_d) + 1,8]$
$0,06 \div 0,1$	$9,5 \div 0,9$	$h/h_d = 0,7[-0,5(d/\lambda_d)^2 + 0,8(d/\lambda_d) + 1,7] \cdot [-0,4(1/m)^2 - 0,3(1/m) + 1,1] \times [500,0(h_d/\lambda_d)^2 - 80,0(h_d/\lambda_d) + 4,2]$



ნახ. 4.3.5. ტალღის სიმაღლის ტრანსფორმაციის
საანგარიშო გრაფიკები



ნახ. 4.3.6. $f(h_i/h_d)$ ფუნქციის საანგარიშო გრაფიკები

ცხრილი 4.3.4

ტალღის სიმაღლის ტრანსფორმაციის საანგარიშო მაკორექტირებელი (k) კოეფიციენტის მნიშვნელობები

საანგარიშო ელემენტი	ფერდის დახრილობა ($\text{ctg } \alpha$)		
	9.51÷6.31	6.30÷3.08	3.07÷1.54
h	0.8	0.8	0.7

ტალღის სიგრძე (λ) და პერიოდი (t) ტრანსფორმაციის ზონაში მთის წყალსაცავებზე უმნიშვნელოდ იცვლება:

$$\lambda_i = \lambda_d, \quad t_i = t_d. \quad (4.3.4)$$

ჩამოქცევის ზონაში წყლის კრიტიკული სიღრმე (d_{cr}) განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$d_{cr} = \lambda_d \cdot f(d_{cr}/\lambda_d) \cdot a_z \cdot k_r, \quad (4.3.5)$$

სადაც $f(d_{cr}/\lambda_d) = k \cdot f(m) \cdot f(h_d/\lambda_d)$, და იანგარიშება ფორმულების (ცხრ. 4.3.5), დამხმარე გრაფიკების (ნახ. 4.3.7) და ნომოგრამების (ნახ. 4.3.8) გამოყენებით; (k)-ს მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრ. 4.3.6-ში; $a_z = 1,5$ – მასშტაბური კოეფიციენტი; k_r – ფერდის ზედაპირის სიმქისის კოეფიციენტი.

ცხრილი 4.3.5

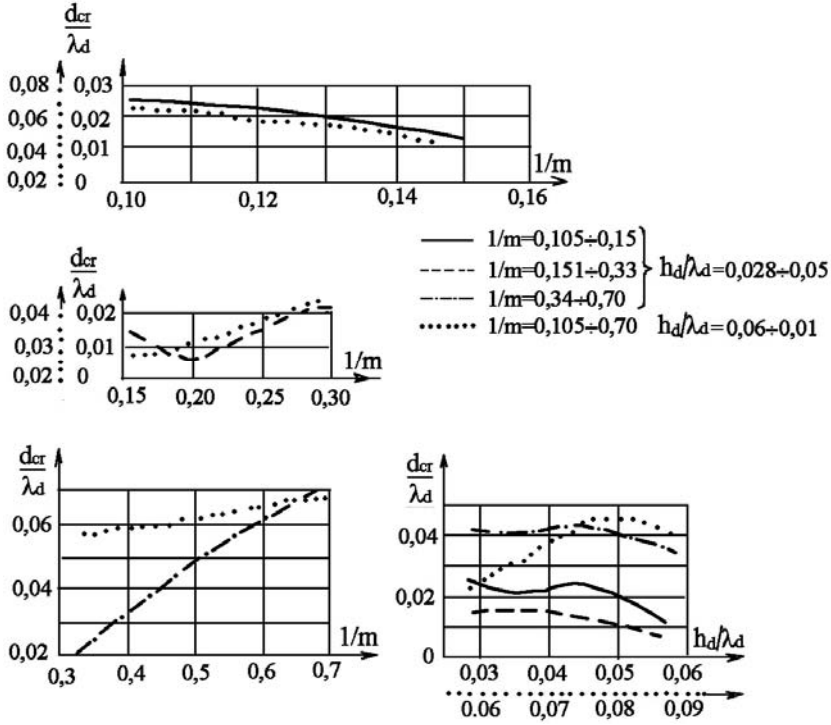
კრიტიკული სიღრმის (d_{cr}) საანგარიშო ფორმულები

$\frac{h_d}{\lambda_d}$	m	$\frac{d_{cr}}{\lambda_d} = k \cdot f_1(m) \cdot f_2\left(\frac{h_d}{\lambda_d}\right)$
1	2	3
$0,03 \div 0,055$	$9,51 \div 6,31$	$d_{cr}/\lambda_d = 7,0[-0,8(1/m)^2] \cdot [35,1(h_d/\lambda_d)^3 + 44,8(h_d/\lambda_d)^2 - 3,6(h_d/\lambda_d) + 0,1]$
$0,03 \div 0,05$	$6,30 \div 3,08$	$d_{cr}/\lambda_d = 7,0[-0,8(1/m)^2] \cdot [35,1(h_d/\lambda_d)^3 + 44,8(h_d/\lambda_d)^2 - 3,6(h_d/\lambda_d) + 0,1]$
$0,03 \div 0,05$	$3,07 \div 1,54$	$d_{cr}/\lambda_d = 3,0[0,1(1/m)] \cdot [-87,8(h_d/\lambda_d)^3 + 27,2(h_d/\lambda_d)^2 - 2,2(h_d/\lambda_d) + 0,1]$
$0,06 \div 0,1$	$9,51 \div 1,54$	$d_{cr}/\lambda_d = 2,9[1,7(1/m)^2 - 0,6(1/m) + 0,2] \cdot [-31,2(h_d/\lambda_d)^2 + 5,2(h_d/\lambda_d) - 0,2]$

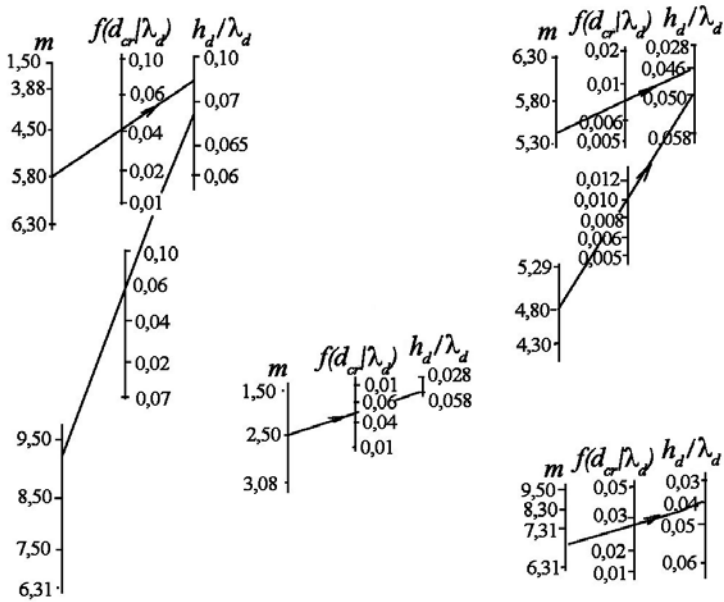
ტალღის კრიტიკული სიმაღლე (h_{cr}) განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$h_{cr} = h_d \cdot f(h_{cr}/h_d) \cdot a_z \cdot k_r, \quad (4.3.6)$$

სადაც $f(h_{cr}/h_d) = k \cdot f(m) \cdot f(h_d/\lambda_d)$ – იანგარიშება ფორმულების (ცხრ. 4.3.7), დამხმარე გრაფიკების (ნახ. 4.3.9) და ნომოგრამების (ნახ. 4.3.10) გამოყენებით; (k)-ს მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრ. 4.3.8-ში; $a_z = 1,5$ – მასშტაბური კოეფიციენტი; k_r – ფერდობის სიმქისის კოეფიციენტი.



ნახ. 4.3.7. კრიტიკული სიღრმის (d_{cr}) საანგარიშო დამხმარე გრაფიკები



ნახ. 4.3.8. $f(d_{cr}/\lambda_d)$ ფუნქციის საანგარიშო გრაფიკები

ცხრილი 4.3.6

მაკორექტირებელი კოეფიციენტების (k)-ს მნიშვნელობები კრიტიკული სიღრმის (d_{cr})-ის საანგარიშოდ

$m \backslash h_d / \lambda_d$	0,028	0,06	0,036	0,07	0,045	0,08	0,054	0,1
9,51	1,50	0,5	4,1	0,56	6,3	0,66	15,0	1,2
6,30	1,80	–	5,2	–	14,2	–	13,4	–
3,07	0,90	–	1,8	–	3,4	–	5,5	–
3,14	6,80	–	11,6	–	1,7	–	4,3	–
6,30	–	2,7	–	3,0	–	2,9	–	3,0
4,71	23,0	–	32,0	–	1,8	–	1,6	–
2,36	3,90	–	6,2	–	0,7	–	2,1	–
7,12	4,10	–	1,2	–	10,0	–	9,4	–
3,73	5,50	–	1,8	–	1,0	–	16,8	–
3,08	–	1,8	–	2,5	–	3,3	–	4,9
1,88	2,70	–	0,9	–	4,3	–	3,4	–
6,31	19,0	–	9,6	–	5,0	–	0,9	–
3,08	12,0	–	8,4	–	5,1	–	5,0	–
1,54	3,10	6,2	3,5	4,6	3,3	3,2	0,9	5,9

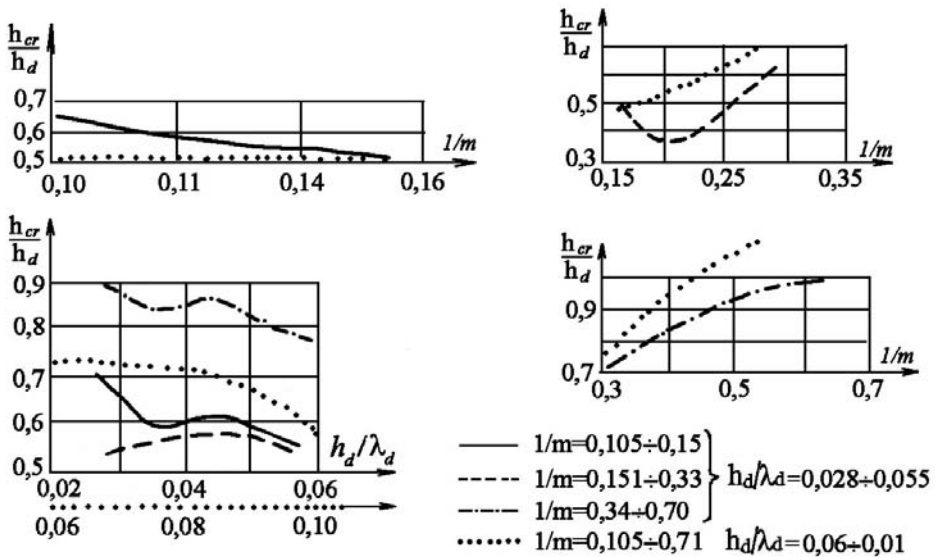
ცხრილი 4.3.7

კრიტიკული სიღრმის საანგარიშო ფორმულები

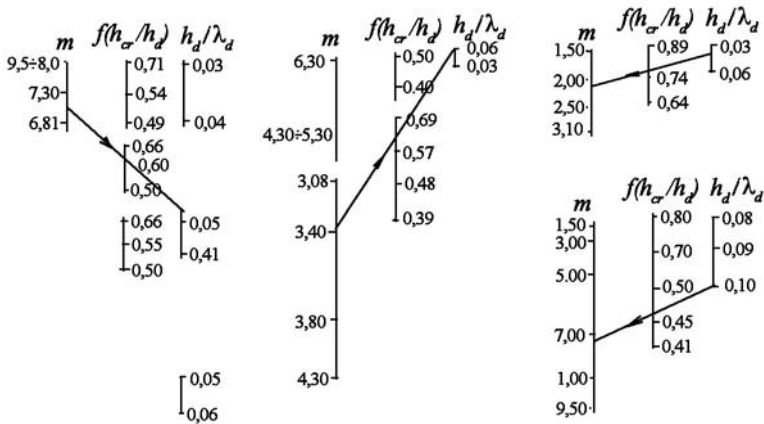
$\frac{h_d}{\lambda_d}$	m	$\frac{h_{cr}}{h_d} = k \cdot f_1(m) \cdot f_2\left(\frac{h_d}{\lambda_d}\right)$
0,03÷0,055	9,5÷6,31	$h_{cr}/h_d = 1,8[-2,5(1/m) + 0,9] \cdot [428,9(h_d/\lambda_d)^2 - 40,5(h_d/\lambda_d) + 1,5]$
0,03÷0,05	6,30÷3,08	$h_{cr}/h_d = 1,9[37,8(1/m)^2 - 17,4(1/m) + 2,3] \cdot [-94,3(h_d/\lambda_d)^2 + 8,4(h_d/\lambda_d) + 0,4]$
0,03÷0,05	3,07÷1,54	$h_{cr}/h_d = 1,1[0,9(1/m) + 0,42] \cdot [-34792,6(h_d/\lambda_d)^3 + 4225,9(h_d/\lambda_d)^2 - 168,3(h_d/\lambda_d) + 3,1]$
0,06÷0,1	9,5÷1,54	$h_{cr}/h_d = 1,3[2,8(1/m)^2 - 0,5(1/m) + 0,5] \cdot [162,5(h_d/\lambda_d)^2 - 16,3(h_d/\lambda_d) + 1,1]$

მაკორექტირებელი კოეფიციენტების (k)-ს მნიშვნელობები კრიტიკული სიღრმის (h_{cr})-ის საანგარიშოდ

$m \backslash h_d / \lambda_d$	0,028	0,06	0,036	0,07	0,045	0,08	0,054	0,1
9,51	1,2	1,2	1,9	1,4	2,0	1,5	2,1	1,7
6,30	1,08	–	2,1	–	2,4	–	2,3	–
3,07	0,78	–	1,1	–	1,32	–	1,4	–
3,14	2,1	–	2,1	–	1,2	–	1,8	–
6,30	–	1,7	–	1,5	–	1,12	–	1,7
4,71	3,3	–	2,1	–	1,4	–	1,7	–
2,36	1,4	–	1,24	–	0,82	–	1,1	–
7,12	1,8	–	1,3	–	1,8	–	2,1	–
3,73	2,1	–	1,2	–	2,1	–	2,0	–
3,08	–	1,3	–	1,1	–	0,85	–	1,15
1,88	1,1	–	0,65	–	1,35	–	1,4	–
6,31	1,8	–	2,3	–	1,8	–	1,1	–
3,08	2,3	–	2,2	–	1,8	–	1,3	–
1,54	1,48	0,85	1,5	1,65	1,2	1,6	0,7	1,1



ნახ. 4.3.9. ტალღის კრიტიკული სიმაღლის საანგარიშოდ დამხმარე გრაფიკები



ნახ. 4.3.10. ფუნქცია $f(h_{cr}/h_d)$ -ს საანგარიშო ნომოგრამა

ტალღების ფერდობზე ჩამოქცევის სიღრმე (z) იანგარიშება დამოკიდებულებით:

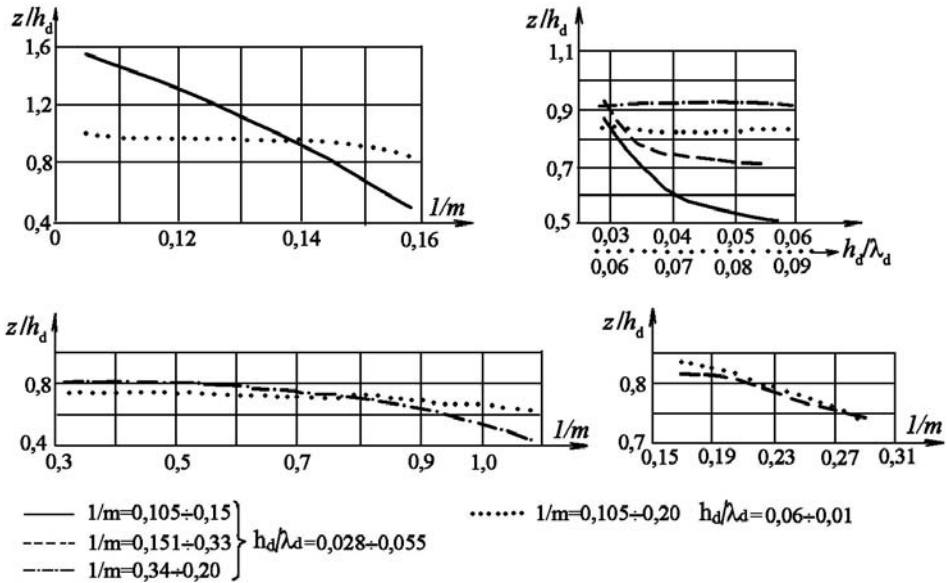
$$z = h_d \cdot f(z/h_d) \cdot a_z \cdot k_z, \quad (4.3.7)$$

სადაც $f(z/h_d) = k \cdot f(m) \cdot f(h_d/\lambda_d)$ იანგარიშება ფორმულების (ცხრ. 4.3.9), დამხმარე გრაფიკების (ნახ. 4.3.11) და ნომოგრამების (ნახ. 4.3.12) გამოყენებით; (k)-ს მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრ. 4.3.10-ში; $a_z = 1,5$ – მასშტაბური კოეფიციენტი; k_r – ფერდობის სიქისის კოეფიციენტი.

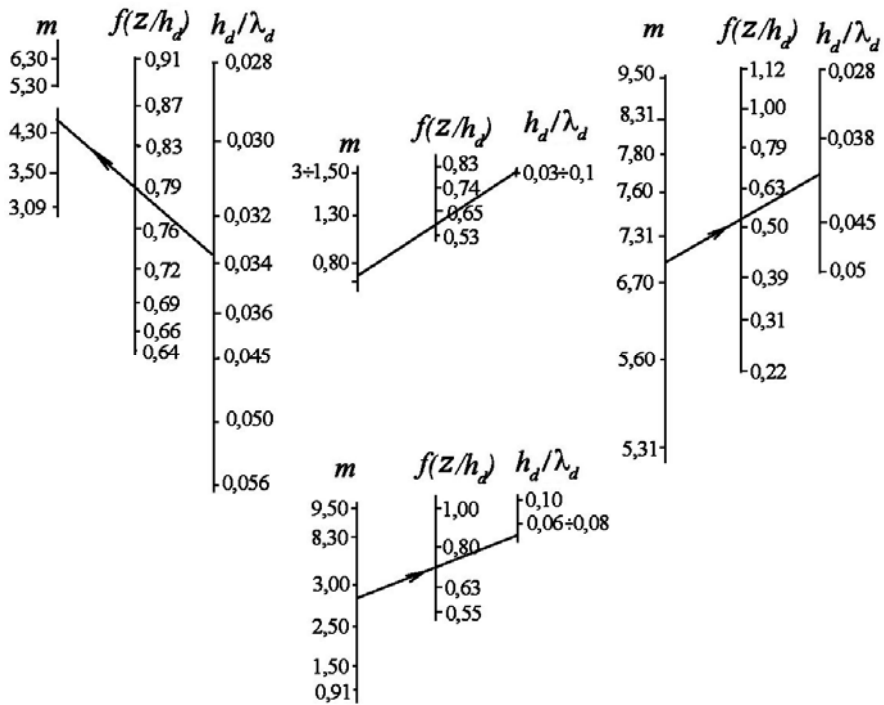
ცხრილი 4.3.9

ტალღის ჩამოქცევის სიღრმის (z) საანგარიშო ფორმულები

h_d/λ_d	m	$Z/h_d = k \cdot f_1(m) \cdot f_2(h_d/\lambda_d)$
0,03÷0,055	9,5÷6,31	$Z/h_d = 1,0[630,1(1/m)^2 - 167,0(1/m) + 12,3] \cdot [898,4(h_d/\lambda_d)^2 - 92,5(h_d/\lambda_d) + 3,2]$
0,03÷0,05	6,30÷3,08	$Z/h_d = 1,2[-5,2(1/m)^2 - 1,8(1/m) + 0,7] \cdot [1081,7(h_d/\lambda_d)^2 - 99,9(h_d/\lambda_d) + 2,9]$
0,03÷0,05	3,07÷0,9	$Z/h_d = 1,1[-1,4(1/m)^2 + 1,5(1/m) + 0,5] \cdot [16,8(h_d/\lambda_d)^2 - 1,8(h_d/\lambda_d) + 1,0]$
0,05÷0,1	9,5÷0,9	$Z/h_d = 1,2[-1,4(1/m)^2 - 2,0(1/m) + 1,3] \cdot [-37,5(h_d/\lambda_d)^2 + 5,2(h_d/\lambda_d) + 0,6]$



ნახ. 4.3.11. ტალღის ჩამოქცევის სიღრმის (z) საანგარიშო დამხმარე გრაფიკები



ნახ. 4.3.12. ფუნქცია $f(z/h_d)$ -ს საანგარიშო ნომოგრამა

მაკორექტირებელი კოეფიციენტების (k)-ს მნიშვნელობები კრიტიკული სიღრმის (z) საანგარიშოდ

$m \backslash h_d / \lambda_d$	0,028	0,06	0,036	0,07	0,045	0,08	0,054	0,1
9,51	1,01	1,4	1,14	1,1	1,0	1,2	1,00	1,1
6,30	1,30	–	1,40	–	1,2	–	1,123	–
3,07	1,58	–	1,34	–	1,0	–	1,08	–
3,14	1,00	–	0,90	–	1,1	–	1,10	–
6,30	–	0,1	–	0,90	–	1,38	–	1,3
4,71	1,30	–	1,25	–	1,24	–	1,30	–
2,36	1,40	–	0,90	–	0,96	–	1,10	–
7,12	0,96	–	1,10	–	0,98	–	1,10	–
3,73	1,28	–	1,48	–	1,20	–	1,30	–
3,08	–	0,26	–	0,68	–	1,26	–	1,3
1,88	0,60	–	1,10	–	1,24	–	1,70	–
6,31	1,20	–	0,98	–	0,96	–	0,95	–
3,08	1,06	–	1,30	–	1,20	–	1,40	–
0,9	1,00	0,18	1,10	0,16	1,10	1,04	1,10	1,2

ზვირთცემის ზონაში ტალღის აგორების სიმაღლე (h_{runup}) იანგარიშება ფორმულით:

$$h_{runup} = h_d \cdot k_r \cdot k_{გამჭ.} \cdot f(h_{runup} / h_d) \cdot a_{runup}, \quad (4.3.8)$$

სადაც $f(h_{runup} / h_d) = k \cdot f(m) \cdot f(h_d / \lambda_d)$ – იანგარიშება ფორმულების (ცხრ. 4.3.11), დამხმარე გრაფიკების (ნახ. 4.3.13) და ნომოგრამების (ნახ. 4.3.14) გამოყენებით; (k)-ს მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრ. 4.3.12-ში; k_r – ფერდობის სიმქისის კოეფიციენტი; $k_{გამჭ.}$ – ფერდობის გამჭოლიანობის კოეფიციენტი; $a_{runup} = 0,8$ – მასშტაბური კოეფიციენტი.

ფერდობზე ტალღების აგორების სიხქარე (V_{runup}) იანგარიშება ფორმულით:

$$V_{runup} = f(V_{runup}) \cdot a_v, \quad (4.3.9)$$

სადაც $f(V_{runup}) = k \cdot f(d) \cdot f(k_r) \cdot f(h_d) \cdot f(m)$ – იანგარიშება ფორმულების (ცხრ. 4.3.13) და დამხმარე გრაფიკების (ნახ. 4.3.15) გამოყენებით; (k)-ს მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრ. 4.3.14-ში; k_r – ფერდობის სიმქისის კოეფიციენტი; $a_v = 1,25$ – მასშტაბური

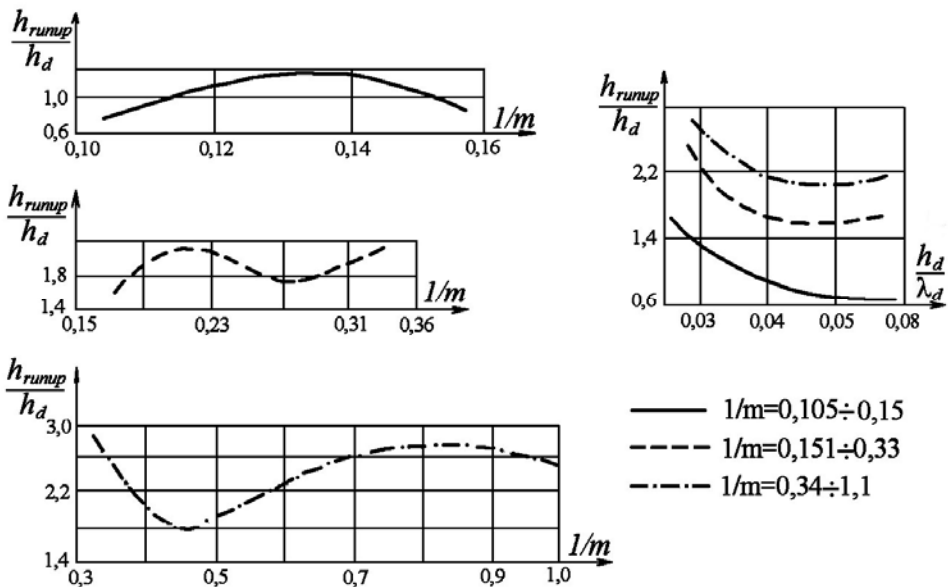
კოეფიციენტი.

ფერდზე ტალღების ჩამოვორების სიჩქარე იანგარიშება დამოკიდებულიებით - $V_{rundown} = V_{runup} / 1,3$.

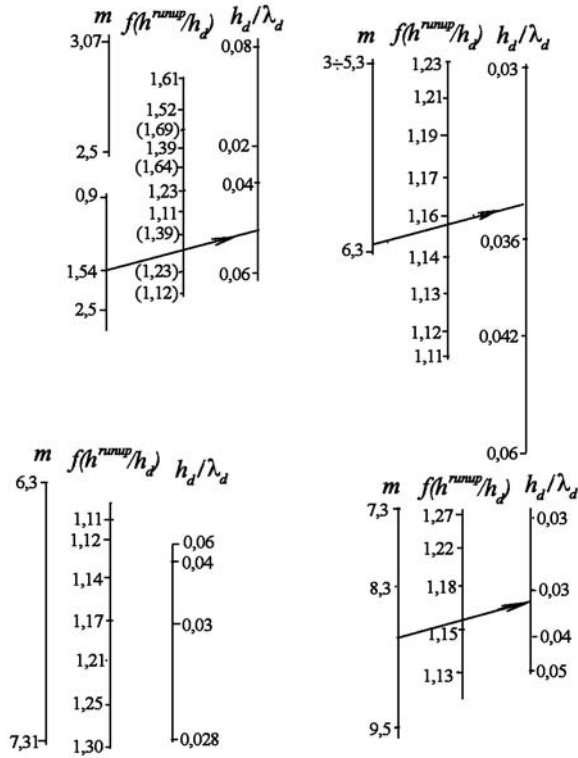
ცხრილი 4.3.11

გლუვ ფერდზე ტალღის აგორების სიმაღლის საანგარიშო ფორმულები

m	$h_{runup}/h_d = k \cdot f_1(m) \cdot f_2(h_d/\lambda_d)$
$9,51 \div 6,31$	$h_{runup}/h_d = 1,0[-801,1(1/m)^2 + 207,8(1/m) - 11,1] \cdot [1301(h_d/\lambda_d)^2 - 132,0(h_d/\lambda_d) + 4,1]$
$6,30 \div 3,08$	$h_{runup}/h_d = 0,5[1763,8(1/m)^3 - 1309,0(1/m)^2 + 318,7(1/m) - 2,28] \times$ $\times [658(h_d/\lambda_d)^2 - 98,2(h_d/\lambda_d) + 4,6]$
$3,07 \div 0,90$	$h_{runup}/h_d = 0,4[-47,3(1/m)^3 + 103,2(1/m)^2 - 68,0(1/m) + 15,8] \times$ $\times [2393,6(h_d/\lambda_d)^2 - 223,3(h_d/\lambda_d) + 7,2]$



ნახ. 4.3.13. ფერდზე ტალღის აგორების სიმაღლის საანგარიშო დამხმარე გრაფიკები



ნახ. 4.3.14. ფუნქცია $f(h_{runup}/h_d)$ -ს საანგარიშო ნომოგრამა

ცხრილი 4.3.12

მაკორექტირებელი კოეფიციენტების (k)-ს მნიშვნელობები ტალღის ფერდზე აგორების სიმაღლის (h_{runup}) საანგარიშოდ

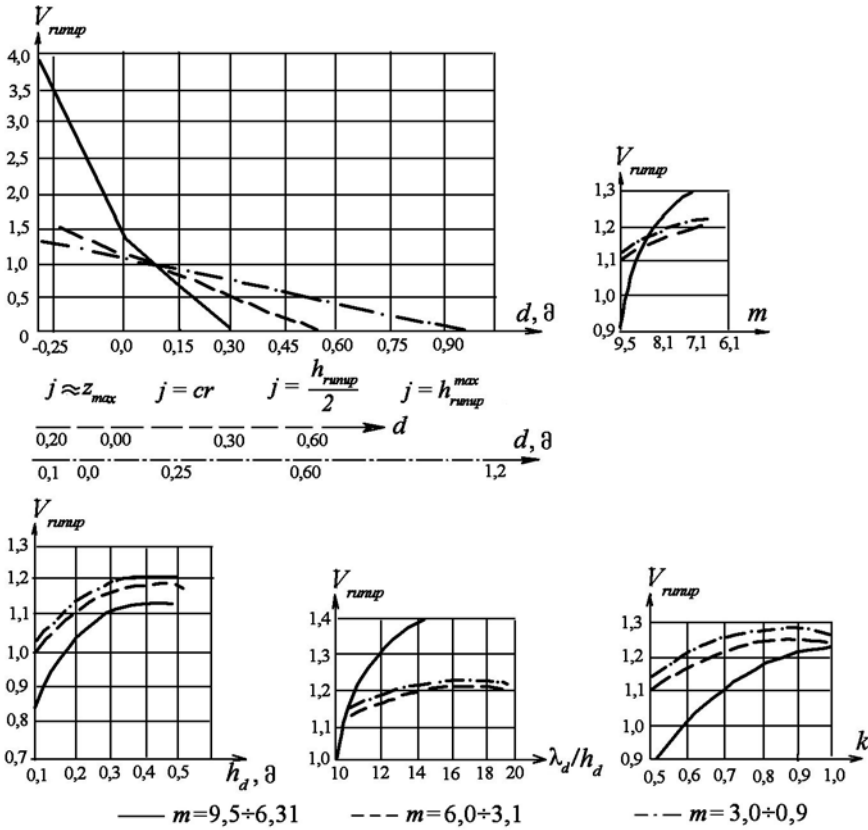
$m \backslash h_d / \lambda_d$	0,028	0,036	0,045	0,054
9,51	1,24	1,16	0,93	0,94
6,30	0,32	0,56	0,40	0,45
3,07	0,50	0,44	0,40	0,35
8,14	0,67	1,02	1,16	1,30
4,71	0,42	0,51	0,65	0,58
2,36	0,50	0,32	0,40	0,49
7,12	1,14	1,20	0,96	0,81
3,73	0,60	0,56	0,46	0,51
1,88	0,46	0,50	0,38	0,34
6,31	1,16	0,78	1,06	1,10
3,08	0,28	0,53	0,69	0,62
1,54	0,33	0,40	0,49	0,45

ფერდზე ტალღის აგორების სიჩქარის (V_{runup})
საანგარიშო ფორმულები

m	$V_{runup} = k \cdot f(d) \cdot f(k_r) \cdot f(h_d) \cdot f(m) \cdot f(h/\lambda)$
9,5÷6,1	<p>წყნარი ღონის ზემოთ:</p> $V_{runup} = \left[4,33 \left(0,3 - \frac{L_i}{\sqrt{1+m^2}} \right) \right] \cdot [-0,24 + 3,11k_r - 1,67k_r^2] \cdot [0,5 + 3,5h_d - 4,36h_d^2] \times$ $\times [12,57 - 222,48(1/m) + 1068,18(1/m)^2] \cdot [-1,50 + 0,35(\lambda_d/h_d) - 0,01]$
9,5÷6,1	<p>წყნარი ღონის ქვემოთ:</p> $V_{runup} = 0,58[1,3 + 10,8z_i] \cdot [-0,24 + 3,11k_r - 1,67k_r^2] \cdot [0,5 + 3,5h_d - 4,36h_d^2] \times$ $\times [12,57 - 222,48(1/m) + 1068,18(1/m)^2] \cdot [-1,50 + 0,35(\lambda_d/h_d) - 0,01(\lambda_d/h_d)^2]$
6,15÷3,1	<p>წყნარი ღონის ზემოთ:</p> $V_{runup} = 0,76 \left[1,67 \left(0,6 - \frac{L_i}{\sqrt{1+m^2}} \right) \right] \cdot [0,50 + 1,70k_r - k_r^2] \cdot [1,1 + 1,25h_d - 1,25h_d^2] \times$ $\times [0,90 + 8,78(1/m) - 15,69(1/m)^2] \cdot [0,65 + 0,28(\lambda_d/h_d) - 0,01]$
6,15÷3,1	<p>წყნარი ღონის ზემოთ:</p> $V_{runup} = 0,76 \left[1,67 \left(0,6 - \frac{L_i}{\sqrt{1+m^2}} \right) \right] \cdot [0,50 + 1,70k_r - k_r^2] \cdot [1,1 + 1,25h_d - 1,25h_d^2] \times$ $\times [0,90 + 8,78(1/m) - 15,69(1/m)^2] \cdot [0,65 + 0,28(\lambda_d/h_d) - 0,01]$
6,15÷3,1	<p>წყნარი ღონის ქვემოთ:</p> $V_{runup} = 0,76[1,0 + z_i] \cdot [0,50 + 1,70k_r - k_r^2] \cdot [1,1 + 1,25h_d - 1,25h_d^2] \times$ $\times [0,9 + 8,78(1/m) - 15,69(1/m)^2] \cdot [-0,65 + 0,28(\lambda_d/h_d) - 0,01(\lambda_d/h_d)^2]$
3,0÷0,9	<p>წყნარი ღონის ზემოთ:</p> $V_{runup} = 0,85 \left[0,92 \left(1,2 - \frac{L_i}{\sqrt{1+m^2}} \right) \right] \cdot [0,52 + 1,71k_r - 0,97k_r^2] \cdot [0,84 + 1,75h_d - 1,87h_d^2] \times$ $\times [0,88 + 0,90(1/m) - 0,54(1/m)^2] \cdot [0,86 + 0,04(\lambda_d/h_d) - 0,01(\lambda_d/h_d)^2]$
3,0÷0,9	<p>წყნარი ღონის ქვემოთ:</p> $V_{runup} = 0,85[1,1 + 3,0z_i] \cdot [0,52 + 1,71k_r - 0,97k_r^2] \cdot [0,84 + 1,75h_d - 1,87h_d^2] \times$ $\times [0,88 + 0,90(1/m) - 0,54(1/m)^2]$

მაკორექტირებელი კოეფიციენტების (k)-ს მნიშვნელობები ტალღის ფერღზე აგორების სიქარის (V_{runup}) საანგარიშოდ

–	0,47	1,28	–
–	0,57	–	–
–	0,71	0,66	–
0,61	–	0,37	0,54
0,51	–	1,20	0,74
0,56	–	1,03	0,86
0,54	0,50	–	0,73
0,77	–	–	0,33
0,56	1,68	–	0,36
–	0,44	0,54	0,38
–	0,40	0,78	1,54
0,92	0,50	0,88	1,42



ნახ. 4.3.15. ფერღზე ტალღის აგორების სიქარის საანგარიშოდ დამხმარე გრაფიკები

ტაღლები ელემენტების პროგნოზირების შემოთავაზებული საანგარიშო ფორმულები შემოწმებულია საქართველოს მთის წყალსაცავებზე.

ბ) მთის წყალსაცავების ზეირთცემის ზონაში ტაღლური პროცესების თეორიული დასაბუთება

სითხის ტაღლური მოძრაობის მათემატიკური თეორიები საკმაოდ მრავალრიცხოვანი და მრავალფეროვანია. ამიტომ მათი გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ გარკვეული კერძო ტაღლური ამოცანებისათვის.

ზედაპირული ტაღლების წარმოქმნისა და გავრცელების კანონები საკმაოდ კარგადაა შესწავლილი.*)

ფერდობზე ზედაპირული გრავიტაციული ტაღლების ამოცანები ამოიხსნება როგორც წრფივი მათემატიკური ფიზიკის (დიფერენციალური განტოლებები), ისე არაწრფივი მათემატიკური ფიზიკის (კონფორმული თეორია; კომპლექსური ცვლადის ფუნქციების თეორია; ლაპლასის, ფურიეს, გრინის გარდაქმნები; ინტეგრალური, გრინსპლანის, მაიერისა და სხვ. განტოლებების თეორია) აპარატის გამოყენებით. ტაღლური პროცესების შესწავლაში ქართველ მეცნიერებსაც ღირსეული ადგილი უკავიათ. ესენია: შ. გაგოშიძე, რ. კილაძე, ნ. ვარაზაშვილი, თ. ვოინიხ-სიანოჟენსკი და სხვ. მიუხედავად ამისა, მთის წყალსაცავების ციცაბო ფერდობებზე ტაღლური პროცესების განვითარების თეორიული ამოხსნა ჯერ კიდევ ითხოვს დაზუსტებას.

ტაღლური რეჟიმის დინამიკა მთის წყალსაცავების სანაპირო ზონაში – რთული და მრავალფაქტორიანი პროცესია. აქ ღელვა, ძირითადი ფაქტორების გარდა, განპირობებულია ფერდობების ციცაბო დახრილობით, ტაფობის რელიეფისა და სანაპირო ზოლის კონფიგურაციის არაერთგვაროვნებით, დონის დამუშავებით.

თეორიული კვლევების არსებული შედეგების შედარებამ აჩვენა მათი მნიშვნელოვანი სხვაობები. ამის გარდა, ფაქტორების გამოყენების საზღვრების გამო, ფორმულების შედარება საკმაოდ ძნელია (ნახ. 4.3.1).

ტაღლების თეორიული კვლევები დაყოფილია სამ ჯგუფად: რხევადი (წინსვლით-პერიოდული) ტაღლების თეორია, ერთეული ტაღლების თეორია და განზოგადებული (კნოიდალური) ტაღლების თეორია.

რხევადი ტაღლების თეორიას მიეკუთვნება მცირე ამპლიტუდის ტაღლების თეორია, მცირე ამპლიტუდის ტაღლების წრფივი თეორია

*) არსებული კვლევების სრული ბიბლიოგრაფია განხილულია ი. იორდანიშვილის მონოგრაფიაში [И.К. Иорданишвили, 2004].

და სასრული ამპლიტუდის ტალღების თეორია. ეს თეორია, როგორც ყველაზე მარტივი, ფართოდაა გამოყენებული ჰიდროდინამიკაში, ჰიდრაულიკაში, ჰიდრომექანიკაში და დამოკიდებულებები, რომლებიც მიღებულია მათ საფუძველზე, დღემდე გავრცელებულია საინჟინრო პრაქტიკაში. ტალღების წრფივი თეორიის დამოკიდებულებების ძირითადი ნაკლია ტალღების პარამეტრების ურთიერთდამოკიდებულება და ტალღების ტრანსფორმაციის თავისებურებები კრიტიკულ სიღრმეზე.

სასრული ამპლიტუდის ტალღების თეორია უფრო მეტად გამოყენებულია სხვადასხვა სიღრმეებზე, მაგრამ ჯერ კიდევ შორსაა მისი გამოყენება პრაქტიკული გათვლებისათვის. წყალმარჩხ ზონაში ამ თეორიის გამოყენება შემოთავაზებულია მხოლოდ ტალღების სიგრძისა და სიჩქარის გასაანგარიშებლად, თანაც საკმაოდ რთული სახით, რაც აძნელებს მის გამოყენებას. მთის წყალსაცავების პირობებში, სადაც მოქმედი ფაქტორების რაოდენობა მეტია, ამ მეთოდის გამოყენება უფრო რთულდება.

ერთეული (განცალკევებული) ტალღის თეორია – ჩვეულებრივი პროგრესული ტალღის ზღვრული ტიპია, როდესაც მისი სიგრძე მის წრაფვის უსასრულობისაკენ. ამ ტიპის ტალღებს მიეკუთვნება ცუნამი.

კნოიდალური ტიპის ტალღების თეორიის პრაქტიკულად გამოყენება საკმაოდ რთულია. მისი გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ $0,25 << \frac{d_d}{\lambda_d} > 0,10$ ფარგლებში.

ტალღების სტატისტიკური თეორია არ იძლევა პასუხებს ისეთ საკითხებზე, როგორცაა შტორმის გარე სივრცეში ტალღების გავრცელება და ჩაქრობა.

განვიხილოთ ტალღების წრფივი თეორიის გამოყენების შესაძლებლობა მთის წყალსაცავების პირობებში.

მთის წყალსაცავების ნაპირებზე ტრანსფორმაციის ზონაში ტალღაწარმოქმნის ფაქტორების ანალიზის საფუძველზე გამოვლენილია ძირითადი ფაქტორები: ტალღის სიმაღლე (h_d) ღრმა წყალზე, საანგარიშო სიღრმე (d), ფერდობის დახრილობა ($m = \text{ctg } \alpha$), ფერდობის ზედაპირის სიმქისე (k_A) [И.К Иорданишвили, 2004].

თუ დავუშვებთ, რომ ფერდობის ზედაპირი გლუვია ($k_A = 1$), მაშინ თავთხელი წყლის ზედაპირის ერთგანზომილებიან განტოლებას აქვს სახე [Стокер Д.Д., 1959]:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t^2} - g \frac{\partial}{\partial x} \left[d(x) \frac{\partial \eta}{\partial x} \right] = 0, \quad (4.3.10)$$

სადაც η – წყლის დონის ამაღლება; g – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება.

თუ ჩავთვლით, რომ ფერდობის პროფილი არ იცვლება, მაშინ $\alpha^\circ = 5^\circ \div 30^\circ$ ფარგლებში $\operatorname{tg} \alpha = \alpha_{(\text{რადიანი})} = 0,08 \div 0,58$, რაც თითქმის რადიანული განზომილების ტოლია, მაშინ $d = \alpha x^*$.

(ა) სისშირის მონოქრომატული ტალღის განტოლება (4.3.10)-ის გამოყენებით მიიღებს სახეს:

$$x = \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\omega^2}{g\alpha} \eta = 0 \quad (4.3.11)$$

(4.3.11)-ის წრფივი მეორე ხარისხის განტოლების პირველი ამონახსენი ჩაიწერება ბესელის ფუნქციის სახით:

$$\eta = AI_0 \sqrt{\frac{4\omega^2 x}{g\alpha}}, \quad (4.3.12)$$

სადაც I_0 – პირველი ტიპის ბესელის ფუნქციაა; A – კონსტანტა, რომლის მნიშვნელობა განისაზღვრება ველის მნიშვნელობით (d) სიღრმეზე.

ასიმპტოტური (I_0) ფორმულის გამოყენებით (4.3.12) განტოლების ამონახსენი ტალღის (η) ამპლიტუდისათვის იქნება:

$$\eta = \frac{A}{2} \sqrt{\frac{g\alpha^2}{\pi^2 \omega^2 d(x)}} \left\{ \cos \left[\omega(t + \tau) - \frac{\pi}{4} \right] + \cos \left[\omega(t - \tau) + \frac{\pi}{4} \right] \right\} \quad (4.3.13)$$

$$\tau(x) = \int \frac{dx}{\sqrt{gd(x)}} = \sqrt{\frac{4x}{g\alpha}}$$

თუ მივიღებთ, რომ ღრმა წყალზე ტალღის სიგრძეა $\lambda_d = 2\pi\sqrt{gd}/\omega$, მაშინ განტოლების ამოხსნა ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\eta = 2\pi h_d \sqrt{\frac{2l_b}{\lambda_d}} I_0 \left(4\pi \sqrt{\frac{l_b x}{\lambda_d}} \right), \quad (4.3.14)$$

სადაც l_b არის მანძილი ნაპირიდან (d) იზობატამდე.

ტალღის სიმაღლე არ მიისწრაფვის უსასრულობამდე მცირე სიღრმეებზე, რადგან გაითვალისწინება ტალღის არეკვლა ფერდობიდან. (4.3.14) განტოლებიდან ტრანსფორმირებული ტალღის სიმაღლეს აქვს სახე:

$$hi = 2\pi h_d \sqrt{\frac{2di}{\lambda_d \alpha}} \quad (4.3.15)$$

*) α – რადიანებში, α° – გრადუსებში, ანგარიშებში მიღებულია, რომ $\alpha^\circ = 5^\circ \div 30^\circ$ ფარგლებში $\operatorname{tg} \alpha^\circ = \alpha_{\text{რად}}$.

მაშასადამე, ტალღის სიმაღლე წყლის კიდეზე წრფივად და დამოკიდებული ტალღის სიწყის სიმაღლეზე და უფრო სუსტად (კვადრატული ფესვის სახით) – ტალღის სიგრძეზე და საანგარიშო სიღრმეზე.

(4.3.15) განტოლების გამოყენებით შეიძლება გამოითვალოს ფერდობზე ტალღის ჰორიზონტალური აგორების სიდიდე – $L = xm$:

$$L \cong \frac{2\pi h d}{\alpha} \sqrt{\frac{2l_b}{\lambda_d}} I_0 \left[4\pi \frac{\sqrt{l_b L}}{\lambda_d} \right] \quad (4.3.16)$$

ბესელის ფუნქციის $I_0 \left[4\pi \frac{\sqrt{l_b L}}{\lambda_d} \right]$ გამოკვლევა უჩვენა, რომ იგი

სასრულია, თუ $x=0$, ე.ი. $I=1$. მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა ზღვრული პირობებისათვის (მთის წყალსაცავების დამახასიათებელი პირობებისათვის: $h_d = 0 \div 5$ მ, $\alpha^\circ = 5 \div 30^\circ$, $\frac{\lambda_d}{h_d} = 10 \div 20$) ცნობილი

გამოსახულების $d_d = \frac{\lambda_d}{2}$ *) გამოყენებით მიიღებს სახეს:

$$I_0 = \left(4\pi \frac{\sqrt{l_b L}}{\lambda_d} \right) = I_0 \left(4\pi \frac{\sqrt{\frac{d_d L}{\alpha}}}{\lambda_d} \right) = I_0 \left(4\pi \frac{\sqrt{\frac{\lambda_d L}{2\alpha}}}{\lambda_d} \right) \quad (4.3.17)$$

$I_0 \left(4\pi \frac{\sqrt{\frac{\lambda_d L}{2\alpha}}}{\lambda_d} \right)$ ფუნქციის შესაძლო მაქსიმალური მნიშვნელობა

($L \ll \lambda_d^2 100 l_b$) პირობებისათვის იქნება:

$$I_{0 \max} = \left(4\pi \frac{\sqrt{\frac{\lambda_d L}{2\alpha}}}{\lambda_d} \right) = I_{0 \max} (1,25\sqrt{L}) = I_{0 \max} \left(1,25\sqrt{\frac{h_{runup}}{\alpha}} \right) = I_{0 \max} (1,7\sqrt{h_{runup}}) \quad (4.3.18)$$

ცნობილია, რომ ტალღის ფერდობზე აგორების მნიშვნელობა მაქსიმუმს აღწევს $m = 1,5 \div 2$ დროს და $h_{runup} \approx 3h_d$. ამის გათვალისწინებით, ბესელის ფუნქციის მაქსიმალური დადებითი მნიშვნელობა, რომელიც შეესაბამება „მშრალ“ ზონას, ტოლია:

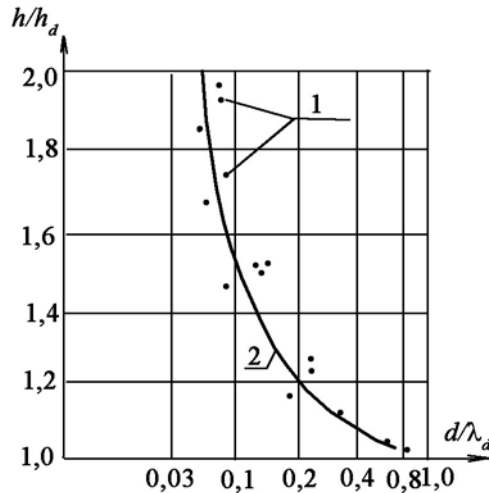
*) $d_d = \frac{\lambda_d}{2}$ – სიღრმე, საიდანაც ფსკერი უკვე ახდენს გავლენას ტალღის ტრანსფორმაციაზე.

$I_{0\max}(1,7\sqrt{h_{runup}}) = 0,34$, ხოლო თუ $m = 1,7$, $h_d = 1,0$ მ და $\left(\frac{h_{runup}}{h_d}\right)_{\max} = 3$, მაშინ $I_{0\max}(1,7\sqrt{h_{runup}}) = 0,34$. ეს პირობა გათვალისწინებულია ტალღის აგორების ასიმპტოტური ფორმულის გამოყვანის დროს:*) $L = \frac{2\pi h d}{\alpha} \sqrt{\frac{2l_b}{\lambda_d}} \cdot 0,34 = 2,1 \frac{h_d}{\alpha^{3/2}}$, სადაც $l_b = d_d / \alpha = \lambda_d / 2\alpha$.

თუ ჩავთვლით, რომ $h_{runup} = \alpha L$, მაშინ

$$h_{runup} = 2,1\alpha \sqrt{\frac{1}{\alpha} h_d} \quad (\alpha - \text{რადიანებში}). \quad (4.3.19)$$

(4.3.15) განტოლების შედარებამ მთის წყალსაცავებზე ნატურულ კვლევებთან გვიჩვენა მისი გამოყენების შესაძლებლობა წრფივი თეორიის ($\alpha^\circ = 5 \div 30^\circ$) ფარგლებში (ნახ. 4.3.16).



ნახ. 4.3.16. ტალღის ტრანსფორმირებული სიმაღლის მნიშვნელობების შედარება.

1 – საქართველოს მთის წყალსაცავებზე ($\alpha = 11^\circ$);

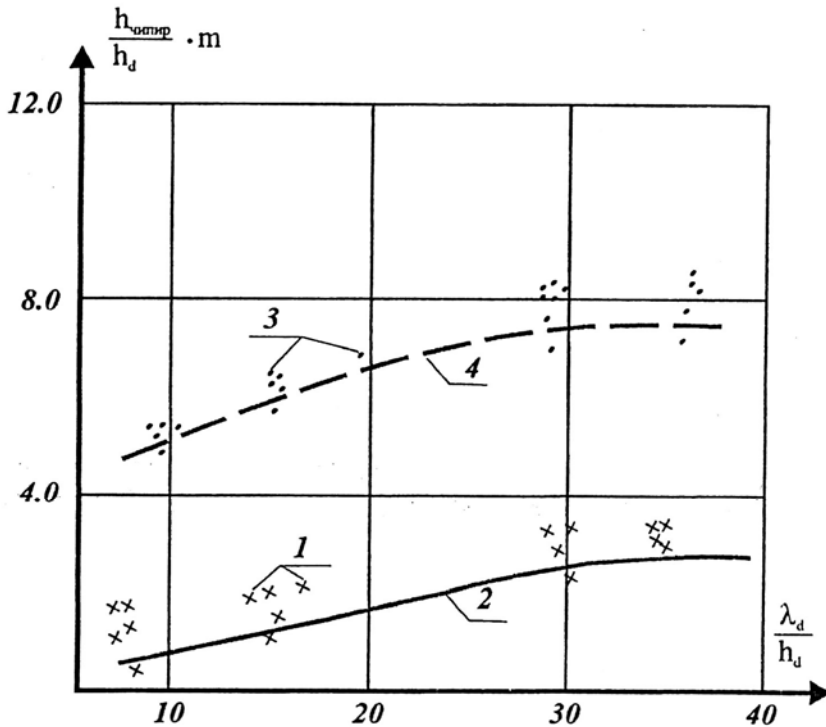
2 – ტალღების წრფივი თეორიის თანახმად.

(4.3.16) განტოლების სრულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ მისი ამოხსნა არსებობს, თუ $\frac{32\sqrt{2}\pi^3 d_d l_b^{3/2}}{\alpha \lambda_d^{5/2}} < 1,9$, ან $\alpha = 14,03 d_d^{2,5} h_d^{3/5} \lambda^{-1}$, რაც

*) ბესელის ფუნქციის მაქსიმალური მნიშვნელობა ცუნამის ტალღისათვის ერთი ტოლია.

ტალღის არჩამოქცევის კრიტერიუმი.

ტალღის ფერდზე აგორების სიმაღლის ანგარიშების შედეგები წრფივი თეორიის ფარგლებში (ფერდობების დახრილობა $\alpha = 5 \div 30^\circ$) ნახვენებია ნახაზზე 4.3.17.



ნახ. 4.3.17. ფერდობზე ტალღის აგორების სიმაღლის მნიშვნელობების შედარება.

- 1 – ანათვლები საქართველოს მთის წყალსაცავებზე ($\alpha = 30^\circ$);
- 2 – ტალღების წრფივი თეორიის თანახმად ($\alpha = 30^\circ$);
- 3 – ანათვლები საქართველოს მთის წყალსაცავებზე ($\alpha = 5^\circ$);
- 2 – ტალღების წრფივი თეორიის თანახმად ($\alpha = 5^\circ$).

კვლევების მოყვანილი შედეგები მეტად სასარგებლო და აუცილებელია მთის წყალსაცავებზე ტალღური პროცესების პროგნოზირებისათვის.

თავი 5. მთის რეგიონებში უმჯობესი წყალსაცავიანი სისტემების ძირითადი ელემენტების დაძველების და საიმედოობის ბაზნობრიშება

5.1. ძირითადი დეზულებები

ა. ჰიდროტექნიკური ნაგებობების დაძველებისა და ხანგრძლივობის კანონზომიერებები

ბუნებაში არ არსებობს ისეთი ფიზიკური მოვლენა, რომლის დროში და სივრცეში ცვლილებების დროს შეინიშნებოდეს სრული იდენტურობის მომენტები.

ყველა გასათვალისწინებელ ფიზიკურ მოვლენაზე აწარმოებენ დაკვირვებებს, რომლის დროსაც ხდება კონკრეტული ობიექტის დამახასიათებელი სიდიდეების რეგისტრაცია. ამის ნათელი მაგალითებია დაკვირვებები არხების, კაშხლების, წყალსაცავების, ტაფობებისა და ნაპირების ე.წ. „დაძველების“ მოვლენებზე. ამ მოვლენების დაფიქსირება ხდება მათი ელემენტების რიცხვითი მნიშვნელობებით შეფასების საფუძველზე. დაკვირვების პროცესში ყოველთვის შეიმჩნევა დასაფიქსირებელი მნიშვნელობების გარკვეული გაბნევა. ამ შემთხვევაში საჭმე გვაქვს შემთხვევით სიდიდესთან.

ამ ამოცანების ზუსტი ამოხსნა, რაც დაკავშირებულია ბუნებრივ მოვლენებთან, არც თუ ისე ხშირია და წარმოადგენს იდეალიზებულ კერძო შემთხვევას. დეტერმინისტული მიდგომა საიმედოა იმ შემთხვევაში, როცა პრაქტიკაში ცვლადი სიდიდის მცირე გადახრების იგნორირება დასაშვებია და ნაკლებად საიმედოა იმ დროს, როცა შემთხვევით გადახრებს მოჰყვება მნიშვნელოვანი ცვლილებები [Ц.Е. Мирцхулава, 2003].

ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მდგრადობის შესწავლაში ძნელად გამოსაყენებელია ზუსტი მეცნიერებების კლასიკური სქემები. ამიტომ გამოსავალი უნდა ვეძებოთ ალბათობის თეორიაში და მის მონათესავე რიგ დარგებში (მათემატიკური სტატისტიკა, სახეთა გარჩევის თეორია, ოპერაციათა გამოკვლევა და სხვ.).

ალბათობის თეორიის ძირითადი ცნებაა „შემთხვევითი მოვლენა“. სიტყვა „შემთხვევითი“ იხმარება მაშინ, როცა უცნობია რაიმე ფაქტის, პროცესის ან მისი გამოვლინების დამახასიათებელი ნიშნის არსებობის შესახებ. „მოვლენა“ კი არის ნებისმიერი ფაქტი, რომელიც ცდის და დაკვირვების მიხედვით ან განხორციელდება, ან არა.

ჩატარებული ცდის ან დაკვირვების შედეგს, რომელიც ყოველთვის ასახავს ამა თუ იმ ფაქტის მოხდენა-არმოხდენას, ალბათური ტერმინოლოგიით, „ხდომილობა“ ეწოდება.

ისეთ ხდომილობას, როცა აპრიორი ცხადია, რომ ცდის ან დაკვირვების ნებისმიერი გამეორებისას მას არასდროს ექნება ადგილი, „შეუძლებელი ხდომილობა“ ეწოდება.

ისეთ ხდომილობას, როცა აპრიორი ცხადია, რომ ყოველი ცდის ან დაკვირვების დროს მას უთუოდ ექნება ადგილი, „აუცილებელი ხდომილობა“ ეწოდება.

რომელიმე ფაქტორის აპრიორული შეფასება უნდა მოხდეს ალბათობის „ემპირიული“ ანუ „სისშირული“ განსაზღვრის საფუძველზე.

რაიმე ხდომილობის ემპირიული (სისშირული) ალბათობის რიცხვითი მნიშვნელობა არის წილადი, რომლის მრიცხველშია მოცემული ხდომილობის შემთხვევების რიცხვი, მნიშვნელში კი ხდომილობების საერთო რაოდენობა. ასეთი ალბათობა გამოითვლება ცდის ჩატარების შემდეგ.

დამოუკიდებელი ცდების რაოდენობის გაზრდისას კონკრეტული ხდომილობის შემთხვევების რაოდენობა თანდათან სტაბილიზირდება და აღნიშნული ფარდობა უახლოვდება რაღაც მუდმივ სიდიდეს, სწორედ ეს სიდიდე არის „მოვლენის ალბათობა“.

არხების (კაშხლების) „დაძველების“ შეფასება შეიძლება ჩატარდეს დემოგრაფიისა და საიმედოობის თეორიის მეთოდების გამოყენებით, რომლებიც პირველად იყო გამოყენებული აკად. ც. მირცხულავას მიერ, კაშხლების დაძველების პროცესების კვლევისას.

„არხის (კაშხლის) ხანგრძლივობა“ – ეს მისი შრომისუნარიანობის შენარჩუნების თვისებაა ზღვრული მდგომარეობის დაწყებამდე.

არხების (კაშხლების) მდგომარეობის შეფასებისას აუცილებელია გავითვალისწინოთ მათი ფიზიკური დაძველების ინტენსივობა, რაც განაპირობებს მათი წყობიდან გამოსვლის მიზეზს.

დაძველებული არხებისა და კაშხლების წყობიდან გამოსვლის მიზეზებია: 1) ენდოგენური (შიდა წარმოშობის) ფაქტორები, რომლებიც ასაკობრივი ცვლილებების შედეგია, ესენია – ნაპრალები, ჯდენა, გაჟონვა, ლითონის ნაწილების კოროზია და 2) ეგზოგენური (გარე წარმოშობის) ფაქტორები, ესენია – გარემოს აგრესიულობა, დეფორმაციები, ექსპლუატაციის პირობები და სხვ.

არხების (კაშხლების) დაძველება – ეს დეგრადაციის პროცესების ერთობლიობის მიმდინარეობაა, რაც განპირობებულია შიდა და გარე ფაქტორების მოქმედებით, რისი საბოლოო შედეგია ობიექტის წყობიდან გამოსვლა.

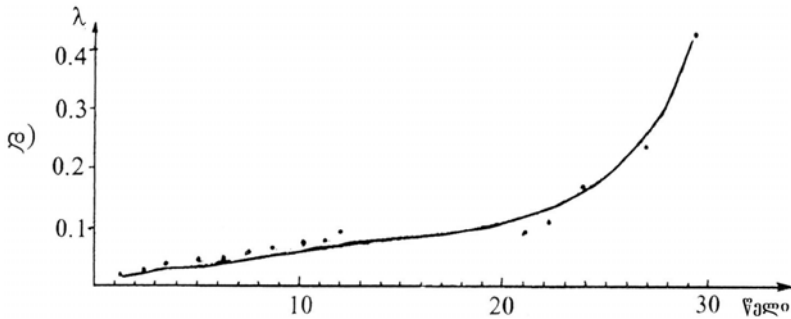
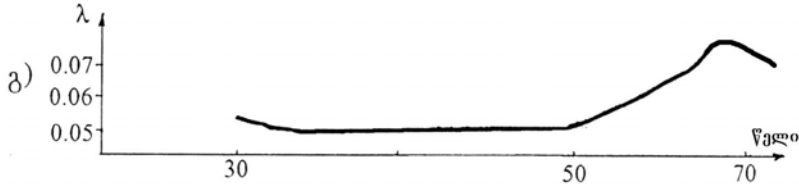
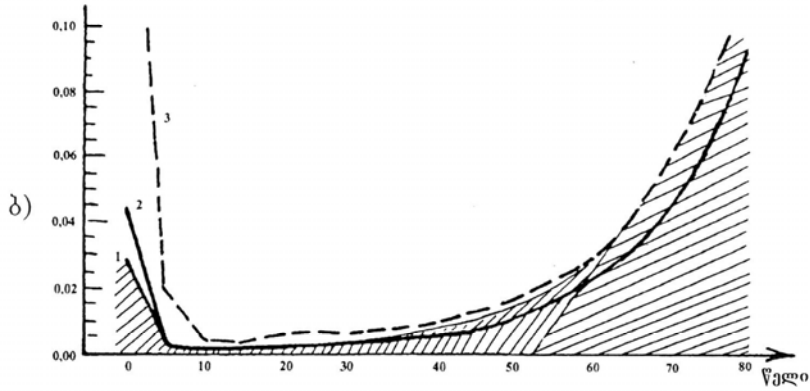
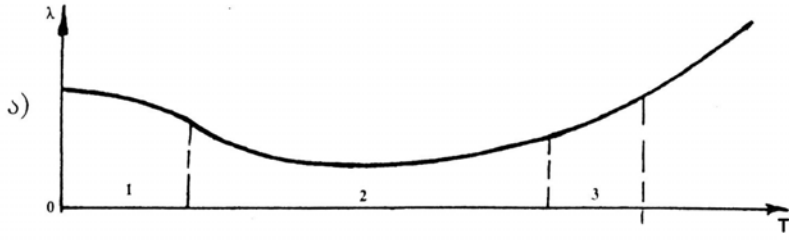
ამასთან დაკავშირებით მიგვაჩნია, რომ არასასურველი შედეგის (მტყუნების) დადგომის რისკი იზრდება არხების (კაშხლების) ასაკის (ფუნქციონირების ხანგრძლივობის) ზრდასთან ერთად.

ჰიდროტექნიკური ნაგებობების – არხების, კაშხლების დაძველებისა და ადამიანის დაბერების პროცესების მსგავსებაზე მიუთითებს აკად. ც. მირცხულავას კვლევები (ნახ. 5.1.1).

დიდი ხანია შექმნილია, რომ რაც უფრო ასაკოვანია ადამიანი (დაძველებულია კაშხალი ან არხი), მით უფრო მეტია საფრთხე, რომ იგი მოკვდეს (ადამიანი), გამოვიდეს წყობიდან (არხი, კაშხალი). თუ გავანალიზებთ ადამიანის, ცხოველის, ჰიდროტექნიკური ნაგებობის დაძველების (დაბერების) პროცესებს, აღმოჩნდება, რომ დროთა განმავლობაში ვითარდება ფუნქციონალური ელემენტების ცვეთა, რის შედეგადაც იზრდება მტყუნების ინტენსივობა და მთავრდება დაძველების (დაბერების) პერიოდი. ადამიანებისა და არხების (კაშხლების) ასეთი ანალოგიურობა ჭეშმარიტია, რადგან საიმედოობის თეორიის თანახმად, ნებისმიერი რეზერვირებადი სისტემა – ეს არის სისტემა, რომელიც აუცილებლად ძველდება (ბერდება) და ხასიათდება მტყუნების ინტენსივობის ზრდით დროში.

ჰიდროტექნიკური ნაგებობების წყობიდან გამოსვლის მრუდები ექსპონენციალურია (მტყუნების ინტენსივობა – მუდმივია) [Ц.Е. Мирцхулава, 2003].

არხების, კაშხლებისა და მათი ელემენტების ფუნქციონირების ხანგრძლივობის და დაძველების პროცესის პროგნოზი შეიძლება განხორციელდეს ორი მიდგომით: თეორიული და სტატისტიკური მონაცემების გამოყენებით. აქ უნდა აღვნიშნოთ, რომ თანამედროვე ეტაპზე არხების ფუნქციონირების ხანგრძლივობა ინდუქციურია, მონაცემები განზოგადებულია ცხრილების სახით და შემდეგ ირჩევა ფორმულები. იმ შემთხვევაში, თუ არ არსებობს სანდო მონაცემები არხების ფუნქციონირებისა (რადგან ჩვენ არ ვფლობთ სანდო სტატისტიკურ ინფორმაციას რიგი არხების ფუნქციონირების შესახებ), საჭიროდ მიგვაჩნია მათემატიკური სტატისტიკის თანამედროვე მეთოდის – სამყაროს შეცნობადობის გამოცდილების გამოყენება. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მონაცემებს უნდა ჰქონდეს ერთგვაროვანი და უსასრულო „ერგოდიული“ ხასიათი. რადგან ეს პირობა არ სრულდება, ამიტომ ვიყენებთ მათემატიკური სტატისტიკის არატრადიციულ მეთოდებს – ბუტსტრეპ-მეთოდს, სტატისტიკური კვლევების მეთოდს (მონტე-კარლოს მეთოდი) და საექსპერტო შეფასების მეთოდს.



ნახ. 5.1.1. სხვადასხვა სისტემების საიმედოობის მრუდები

ა) ტიპური მრუდი: 1 – მუშაობის დასაწყისი; 2 – მუშაობის ნორმალური პერიოდი; 3 – ცვეთის პერიოდი

ბ) ადამიანთა (მამაკაცების) სიცოცხლის ხანგრძლივობის მრუდი:

1 – 1984÷1985 წწ.; 2 – 1958÷1959 წწ.; 3 – 1926÷1927 წწ.

გ) კაშხლების ფუნქციონირების მრუდი [И.Е. Мирцхулава, 1999]

დ) ბეტონის ფილებით მოპირკეთებული არხების ფუნქციონირების მრუდი [კ.თ. იორდანიშვილი, 2007]

ადამიანთა სიკვდილიანობის და ტექნიკური სისტემების, კერძოდ, კაშხლებისა და არხების ელემენტების მტყუნების განაწილების მრუდები ექვემდებარება გომპერცის კანონს და მის სხვადასხვა მოდიფიკაციებს (ნახ. 5.1.1) [Д.И. Валентей, 1989; Katoh, 1976].

გომპერცის ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$Y = A \cdot e^{-B \cdot l^{Ra}}, \quad (5.1.1)$$

სადაც Y – დაბერებული (დაძველებული) ობიექტების რაოდენობა; l – შემდეგი თაობის რაოდენობა; A – ობიექტების თავდაპირველი რაოდენობა; R – შეცდომების დაგროვების სიჩქარის დამახასიათებელი პარამეტრი.

ობიექტების მნიშვნელოვანი რაოდენობის შემთხვევაში ფუნქციის ინტეგრალი შეიძლება ასეთი სახით ჩაიწეროს:

$$D = \int_0^t e^{-B \cdot l^{Ra}} dt, \quad (5.1.2)$$

ანუ

$$K = \int_0^t (1 + e^{-B \cdot l^{Ra}}) dt, \quad (5.1.3)$$

რომლის მეშვეობით შეიძლება დადგინდეს ობიექტის წყობიდან გამოსვლის სიჩქარე.

ორგანიზმის დაბერების მოდელი შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც *პარალელურ ელემენტთა სისტემა*, რომელთა რაოდენობა ექსპონენციალურად მცირდება მინიმუმამდე, ხოლო *მიმდევრობითი ელემენტების სისტემა* გვაძლევს საშუალებას, მივიღოთ გომპერცის ფუნქციის განაწილება ექსტრემალური მნიშვნელობებისათვის [P. Барлою, 1985].

დაძველების (სიკვდილიანობის) ინტენსივობა (დემოგრაფიაში – სიკვდილის ძალა) გომპერცის მიხედვით იქნება:

$$\mu_x = b \cdot C^x, \quad (5.1.4)$$

სადაც μ_x – დაძველების ინტენსივობა; x – ასაკი.

მაიკემის მიერ მოდიფიცირებულ ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$\mu_x = a + b \cdot C^x \quad (5.1.5)$$

დაძველების (სიკვდილიანობის) საერთო ინტენსივობა შეიძლება ასეთი სახით ჩაიწეროს:

$$\mu_x = \frac{-dN(x)}{N(x)dx} = const + f(x), \quad const \geq 0, \quad f(x) \geq x, \quad (5.1.6)$$

სადაც μ_x – სიკვდილიანობის ინტენსივობა (x) ასაკისათვის; $N(x)$ – ელემენტების (მაცხოვრებლების) რაოდენობა (x) ასაკამდე.

პირველ შესაკრებს სიკვდილიანობის ინტენსივობის *ფონური კომპონენტი* ეწოდება, რომელიც შეიძლება მოხდეს ექსტრემალურ სიტუაციაში (კატასტროფები, უბედური შემთხვევები და ა.შ.). სხვა დანარჩენი სიტუაციები – სიკვდილიანობის ინტენსივობის ასაკობრივი კომპონენტი. მაშინ სიკვდილიანობის ინტენსივობის ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\left. \begin{aligned} \mu_x &= -\frac{l'(x)}{l_x} = -[\ln l_x]' \\ a + b \cdot c^x &= \left[ax + \frac{b}{\ln c \cdot C^x} \right]' \\ [\ln l_x]' &= -\left(ax + \frac{b}{\ln c \cdot C^x} \right)' \end{aligned} \right\} \quad (5.1.7)$$

რადგან ორი გამოსახულების ნამაბლეს ტოლია, ამიტომ ეს გამოსახულებები განსხვავდება ერთნაირი l_x მნიშვნელობით.

მაშინ:

$$[\ln l_x]' = \ln k - ax - \frac{b}{\ln c} C^x \quad (5.1.8)$$

დავუშვათ, რომ:

$$-a = \ln S \quad \text{და} \quad \frac{b}{\ln c} = \ln z \quad (5.1.9)$$

მაშინ:

$$\ln l_x = \ln k + x \ln S + c^x \ln z, \quad (5.1.10)$$

საიდანაც:

$$l_x = k S^x Z^{c^x}, \quad (5.1.11)$$

სადაც l_x – ობიექტების რაოდენობა (x) წლამდე; k, S, Z, C – სტატისტიკური მონაცემების მეშვეობით განსაზღვრული პარამეტრები.

t_1 -დან t_2 -მდე ინტერვალში (x) ასაკამდე ცოცხალი ობიექტების რაოდენობა იქნება:

$$l_x = \int_{t_1}^{t_2} f(x, \tau) d\tau \quad (5.1.12)$$

მსგავსი პრაქტიკული ამოცანების ამოხსნა ადვილდება კინგ-ჰარდის მეთოდით [И.Г. Венецкий, 1971]. განსახილველი მწკრივი იყოფა ოთხ ასაკობრივ ერთნაირ ჯგუფად [Ц.Е. Мирцхулава, 1999]. დამოკიდებულების საბოლოო სახეა:

$$\ln S = \frac{l}{t^2} [\Delta l_i + c^{xhc} + 2 \ln(c^l - 1) + \ln(-z) - \ln(c - 1)]$$

$$\ln k = \frac{l}{t} \left[I - \frac{t}{2} (2x - t - 1) \ln S - c^x \left(\frac{c^t - 1}{c - 1} \right) \ln z \right]$$
(5.1.13)

გომპერც-მეიკჰემის განტოლების ადამიანისათვის გამოყენების ზღვრებია 20÷80 წელი. პრობლემის ასეთი გადაწყვეტა გამოყენებულია კაშხლებისა და არხების დაძველების და ფუნქციონირების ხანგრძლივობის გამოსათვლელად.

არხის სიკვდილი შეესაბამება მის წყობიდან გამოსვლას, ამიტომ არხების წყობიდან გამოსვლის (მტყუნების) ცხრილის შედგენა ერთ-ერთი მთავარი ეტაპია.

ფონური კომპონენტის განსაზღვრა – უძველესი ამოცანაა. ამიტომ მტყუნების ინტენსივობის მაჩვენებლების შეფასებისათვის გამოიყენება გომპერც-მეიკჰემის-ტილეს მოდიფიცირებული ფორმულა [И.Г. Венецкий, 1971]:

$$\lambda(t) = a e^{bt},$$
(5.1.14)

სადაც $\lambda(t)$ – მაგალითად, არხების მტყუნების (წყობიდან გამოსვლის) ინტენსივობაა, რომელშიც,

$$\lambda(t) = \frac{2g_t}{1 + P_t}$$
(5.1.15)

სადაც t – ასაკია, g_t – (t) -დან $(t+1)$ -მდე სიკვდილის ალბათობა; P_t – (t) -დან $(t+1)$ -მდე სიცოცხლის ალბათობა.

თუ გვეცოდინება g_t და P_t ორი ასაკისათვის, შეიძლება გავიგოთ a და b . განტოლების ამოხსნის შემდეგ შეიძლება გამოითვალოს g_t .

ბ. ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ფუნქციონირების საიმედოობის კანონზომიერებები

ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ფუნქციონირების საიმედოობის ამაღლების მეცნიერულად დასაბუთებული მეთოდიკა ეფუძნება ამ ნაგებობების მტყუნების ანალიზს. მტყუნების ცნება, აკად. ც. მირცხუ-ლაგას განმარტებით – ეს ის ხდომილობაა, რომლის შედეგად ირღვევა ნაგებობის ელემენტის მუშაობისუნარიანობა.

როგორც არხების მტყუნების ანალიზმა გვიჩვენა, არხებისა და კაშხლების მტყუნებების საერთო რაოდენობიდან 30% დამოკიდებულია ექსპლუატაციის პირობებზე. ამიტომ, ამ მიმართულებით კვლევას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს.

სარწყავი არხების მტყუნების ერთ-ერთი მიზეზია მათი დაღამვა და გაბარდვა, რაც არხში სინქარის სიმცირისა და გაუწმენდლობის შედეგია. ამიტომ, ძირითადი კვლევები დაფუნებულია ამ პროცესზე.

არხების საიმედოობის პროგნოზის დამაკმაყოფილებელი შედეგების მიღება შესაძლებელი გახდა საიმედოობის თეორიის გამოყენებით.

შემთხვევითი მოვლენების კანონზომიერების ძიება თანამედროვე მათემატიკის ურთულესი ნაწილია. ჰიდროტექნიკური ნაგებობების საიმედოობის საფუძვლები ეკუთვნის აკად. ც. მირცხულავას [Ц.Е. Мирцхулава, 1974].

დეტერმინისტული სქემისათვის მოვლენა (A) აუცილებლად მოხდება. სტოქასტიკურ სქემაში – მოვლენა (A) შეიძლება მოხდეს, შეიძლება არ მოხდეს, ამ შემთხვევაში მოვლენა (A) – შემთხვევითია.

მოვლენის მოხდენის საიმედოობა განისაზღვრება $P(A)$ მუდმივით, რომელიც განსაზღვრულია ხელშემწყობი შემთხვევების მოვლენების რაოდენობის (m) შეფარდებით ყველა შესაძლებელ (n) შემთხვევასთან:

$$P(A) = \frac{m}{n}. \quad (5.1.16)$$

ფორმულა (5.1.16) – საიმედოობის კლასიკური ფორმულაა. თვალსაჩინოა, რომ $0 < P \leq 1$, რადგან $m \leq n$. თუ $P \approx 1$, მოვლენა აუცილებლად მოხდება, და თუ $P \approx 0$ – მოვლენა არ მოხდება.

განვიხილოთ არხების (კაშხლების) და მათი კონსტრუქციული ელემენტების საიმედო ფუნქციონირებისა და მოწყვლადობის ხარისხის შეფასება.

განსახილველ შემთხვევაში სისტემა – ეს არხია (კაშხალი), ხოლო ელემენტები – მისი კონსტრუქციული ნაწილები.

არხების (კაშხლების) საიმედოობის პრობლემის შესწავლის დროს ჩნდება საიმედოობის რაოდენობრივი შეფასების საჭიროება, რომლის მნიშვნელობა – მოცემულ პირობებში განსაზღვრული ქმედების შესრულების ალბათობაა.

არხების (კაშხლების) საიმედოობის კოეფიციენტი – ეს ის ალბათობაა, რომ ობიექტი იმუშავებს მოცემული ხანგრძლივობის დროის ინტერვალში.

არხების (კაშხლების) საიმედოობის ძირითადი კრიტერიუმები იყოფა ორ ჯგუფად: 1) **არაადღგენადი** – მაგისტრალური არხი (კაშხალი) მთლიანად დაინგრევა (ე.ი. ფუნქციონირების პროცესში იგი არ ექვემდებარება რემონტს) და 2) **ადღგენადი** – მათი ელემენტები (ფერდობები, სათავე ნაგებობა, საღებარი, გამანაწილებელი არხები, კაშხლის ბირთვი და ნაპირსამაგრი და სხვ.) ექვემდებარება რემონტს.

არააღდგენადი სისტემის – მაგისტრალური არხის (კაშხლის) – საიმედოობის კრიტერიუმებია:

არხის (კაშხლის) უმტყუნო (წესიერი) მუშაობის ალბათობა $P(t)$, რაც ნიშნავს, რომ სისტემა ინახავს თავის ნორმალურ ქმედითუნარიანობას გარკვეული (t) დროის განმავლობაში, ექსპლუატაციის მოცემულ პირობებში. ანუ, დროის მოცემულ ინტერვალში ქმედების მოცემული რეჟიმის პირობებში არ მოხდება არც ერთი მტყუნება:

$$P(t) = P(T > t), \quad (5.1.17)$$

სადაც T – არხის (კაშხლის) უმტყუნო მუშაობის დროა.

სტატისტიკური მონაცემების თანახმად, არხის (კაშხლის) უმტყუნო მუშაობის ალბათობა განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\bar{P}(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} < 1, \quad (5.1.18)$$

სადაც N – არხის (კაშხლის) ელემენტების რაოდენობაა გამოცდის დასაწყისში; $n(t)$ – არხის (კაშხლის) მტყუნებადი ელემენტების რაოდენობა (t) დროის განმავლობაში; $\bar{P}(t)$ – არხის (კაშხლის) უმტყუნო მუშაობის სტატისტიკური შეფასება.

არააღდგენად სისტემებში მტყუნების ალბათობა (უწესივრო მუშაობის ალბათობა, არასაიმედოობა) იქნება:

$$Q(t) = P(T \leq t); \quad \bar{Q}(t) = \frac{n(t)}{N_0}; \quad Q(t) = 1 - P(t) \quad (5.1.19)$$

დროის ნებისმიერი (t) მომენტისათვის:

$$P(t) + Q(t) = 1 \quad (5.1.20)$$

არხის (კაშხლის) **მტყუნების სისშირე** – ესაა დროის ერთეულში მწყობრიდან გამოსული ელემენტების რაოდენობის შეფარდება გამოსაცდელი ელემენტების პირველად რაოდენობასთან, ამ ელემენტების არააღდგენადობის პირობით:

$$\bar{a}(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t}, \quad (5.1.21)$$

სადაც $n(\Delta t)$ არის მტყუნებადი (მწყობრიდან გამოსული) ელემენტების რაოდენობა $\left(t - \frac{\Delta t}{2}\right)$ -დან $\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right)$ -მდე დროის ინტერვალში.

არხის (კაშხლის) **მტყუნების სისშირე** არის მისი ელემენტების უმტყუნო მუშაობის დროის ალბათობის სიმკვრივე (ან განაწილების კანონი) პირველ მტყუნებამდე:

$$a(t) = 1 - P'(t) = Q'(t); \quad Q(t) = \int_0^t a(t) dt, \quad (5.1.22)$$

$$P(t) = \int_0^t a(t) dt \quad (5.1.23)$$

არხის (კაშხლის) მტყუნების ინტენსივობა არის დროის მოცემულ მონაკვეთში მტყუნებადი და დროის იმავე მონაკვეთში მისი გამართულად მომუშავე ელემენტების რაოდენობის შეფარდება:

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{\text{საშ}} \Delta t}, \quad (5.1.24)$$

სადაც $N_{\text{საშ}} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}$ არის დროის Δt ინტერვალში გამართულად მომუშავე არხის (კაშხლის) ელემენტების საშუალო რაოდენობა; $N_i - \Delta t$ ინტერვალის დასაწყისში არხის (კაშხლის) გამართულად მომუშავე ელემენტების რაოდენობა; $N_{i+1} - \Delta t$ ინტერვალის ბოლოს არხის (კაშხლის) გამართულად მომუშავე ელემენტების რაოდენობა.

აღბათობის განსაზღვრებას შემდეგი სახე აქვს:

$$\lambda(t) = \frac{\alpha(t)}{P(t)} \quad (5.1.25)$$

არხის (კაშხლის) უმტყუნო მუშაობის აღბათობა:

$$P(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right] \quad (5.1.26)$$

არხის (კაშხლის) ნორმალური ექსპლუატაციის შემდეგ, დროის (t) მომენტში ჩნდება ცვეთის მტყუნება. ამ მომენტის შემდეგ მტყუნების ინტენსივობა მატულობს და მათი ნორმალური მუშაობის პროგნოზირებისათვის საჭიროა უმტყუნო მუშაობის საშუალო დროის ცოდნა.

არხის (კაშხლის) უმტყუნო მუშაობის საშუალო დრო – უმტყუნო მუშაობის დროის მათემატიკური მოლოდინია არხის (კაშხლის) პირველ მტყუნებადღე:

$$T_{\text{საშ}} = \int_{-x}^{+x} t a(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) dt, \quad (5.1.27)$$

ან

$$\bar{T}_{\text{საშ}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}, \quad (5.1.28)$$

სადაც t_i არის არხის (კაშხლის) i -ური ელემენტის უმტყუნო მუშაობის

დრო; N_0 – გამოსაცდელი ელემენტების რაოდენობა.

არხის (კაშხლის) მტყუნებადი ელემენტების რაოდენობის (n_i) მონაცემების არარსებობის შემთხვევაში (t) დროის თითოეულ მონაკვეთში პირველ მტყუნებამდე მუშაობის საშუალო დრო განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$\bar{T}_{\text{საშ}} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i t_{\text{საშ}i}}{N_0}, \quad (5.129)$$

სადაც $t_{\text{საშ}i} = \frac{t_{i-1} + t}{2}$, $m = \frac{t_k}{\Delta t}$; t_{i-1} – i -ური ინტერვალის საწყისი დროა; t_i – i -ური ინტერვალის დასრულების დრო; t_k – დრო, რომლის განმავლობაში ყველა ელემენტი გამოვიდა მწყობრიდან; $\Delta t = t_i - t_{i-1}$ – დროის ინტერვალი.

აღდგენად სისტემად მიიჩნევა ისეთი სისტემა, რომლის ფუნქციონირება მტყუნების შემდეგ შეიძლება აღდგეს აუცილებელ აღსადგენ სამუშაოთა განხორციელების შემდეგ.

აღდგენადი სისტემის უმტყუნო მუშაობის ალბათობა 0-დან t_0 -მდე დროის ინტერვალში სტატისტიკურად განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$\bar{P}(t) = \frac{N(t_0)}{N(0)} = 1 - \frac{n(t_0)}{N(0)}, \quad (5.130)$$

სადაც $\bar{P}(t_0)$ არის უმტყუნოდ მომუშავე ელემენტების რაოდენობის ფარდობა დროის t_0 მომენტამდე გამართულად მომუშავე ელემენტების რაოდენობაზე დროის საწყის მომენტში ($t=0$); $N(t_0)$ – გამართულად მომუშავე ელემენტების რაოდენობა t_0 დროის საჭირო ინტერვალში; $N(0)$ – მტყუნებული ელემენტების რაოდენობა t_0 დროის მომენტისათვის.

ალბათობა განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$P(t_0) = P(\theta, t_0) = P\{\theta \geq t_0\} = 1 - F(t_0), \quad (5.131)$$

სადაც θ არის სისტემის ქმედების შემთხვევითი დრო პირველ მტყუნებამდე; $F(t_0)$ – შემთხვევითი სიდიდის განაწილების ფუნქცია; $P(t_0)$ – იმის ალბათობა, რომ ელემენტი უმტყუნოდ იმუშაებს t_0 დროის საჭირო ინტერვალში, ანუ იმის ალბათობა, რომ ელემენტის ქმედების შემთხვევითი დრო შეფერხებამდე იქნება უფრო მეტი, ვიდრე ელემენტის ქმედების t_0 დროის საჭირო ინტერვალი.

მტყუნების პარამეტრი – დროის ერთეულში მტყუნებული ელემენტების საერთო რაოდენობის შეფარდებაა, მისი სტატისტიკური გამოსახულებაა:

$$\omega(t) = \frac{n(\Delta t)}{N\Delta t}, \quad (5.132)$$

სადაც $n(\Delta t)$ არის მტყუნებადი ელემენტების რაოდენობა $\left(t - \frac{\Delta t}{2}\right)$ -დან $\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right)$ მომენტამდე; N – ელემენტების რაოდენობა; Δt – დროის ინტერვალი.

(t) დროის მანძილზე არხის (კაშხლის) უსაფრთხო მუშაობის ალბათობა – ეს არის იმის ალბათობა, რომ (t) დროის განმავლობაში არ მოხდება ავარია:

$$P_{\text{უსაფრთხო}}(t) = P(t_i > t) \quad (5.133)$$

არხის (კაშხლის) უსაფრთხო მუშაობის ალბათობის მნიშვნელობა შეიძლება განისაზღვროს მუშაობის უმტყუნო ალბათობის ანალოგიურად:

$$P_{\text{უსაფრთხო}}(t) = \frac{n(t)}{N_0}, \quad (5.134)$$

სადაც $n(t)$ არის (t) დროის განმავლობაში არხის (კაშხლის) უავარიოდ მომუშავე ელემენტების რაოდენობა; N_0 – ელემენტების საერთო რაოდენობა.

შემთხვევითი სიდიდე $P(t)$ ემორჩილება განაწილების სხვადასხვა კანონზომიერებებს. ჰიდროტექნიკის ამოცანების გადაწყვეტისას, როგორც წესი, სარგებლობენ ექსპონენციალური და პუასონის განაწილებებით [Ц.Е. Мирцхулава, 1974].

თუ არხების (კაშხლების) შეუფერხებლად მუშაობის შეფასებისას მტყუნების ინტენსივობა მუდმივია ($\lambda = const$), მაშინ მტყუნების დრო, როგორც წესი, განაწილების ექსპონენციალურ კანონს ექვემდებარება:

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c t} = l^{-\frac{t}{T_{\text{საშ}}}}; \quad \lambda_c = \sum_{i=1}^N \lambda_i; \quad (5.135)$$

$$a_c(t) = \lambda_c e^{-\lambda_c t}; \quad T_{\text{საშ}} = \frac{1}{\lambda_c}. \quad (5.136)$$

პუასონის განაწილებას იყენებენ იშვიათი შემთხვევებისათვის, თუ მათემატიკური მოლოდინი ან შემთხვევების საშუალო რიცხვი, რომელიც აღინიშნება გარკვეულ ერთეულ ინტერვალში, λ -ს ტოლია, მაშინ

(I) ინტერვალში მოსახდენი (k) შემთხვევების საიმედოობა (P_k) შეიძლება გამოვიანგარიშოთ ფორმულით:

$$P_k = \frac{a^k}{K!} e^{-a}, \quad (5.137)$$

სადაც $a = \lambda l$ არის შემთხვევების რაოდენობა, ანუ განაწილების პარამეტრი; $k \geq 0$ – შემთხვევითი სიდიდე.

შემთხვევითი სიდიდის დისპერსია, რომლის განაწილება პუასონის კანონს ექვემდებარება, მათემატიკური მოლოდინის ტოლია. პუასონის განაწილებისათვის მათემატიკური მოლოდინი $m_x = a$; საშუალო კვადრატული გადახრა – $\sigma_x \cong \sqrt{a}$, ხოლო დისპერსია – $D_x = a$. მაშინ

(I) ინტერვალში მოხვედრის ალბათობა იქნება:

$$P(m_1 \leq X \leq m_2) = e^{-\lambda l} \sum_{m=m_1}^{m_2} \frac{(\lambda l)^m}{m!} \quad (5.138)$$

ბ. კაშხლების საიმედოობის გაანგარიშების მეთოდისა და მის თხემზე წყლის არგადადინებისას

მთის წყალსაცავებზე აგებული კაშხლების უსაფრთხო ფუნქციონირების პრობლემის გადაწყვეტა განაპირობებს ხალხის უსაფრთხოებას, მატერიალური ფასეულობებისა და ეკოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნებას.

ჰიდროტექნიკური მშენებლობის დიდი მიღწევები იძლევა მათი უსაფრთხოების გარანტიას. ეს პრობლემა განსაკუთრებულად მნიშვნელოვანია მთის ზონებში ასაკებ კაშხლებზე, რომელთა გეოლოგიური პირობები, მეტეოროლოგიური სიტუაცია, ტალღების ფორმირების თავისებურებები – კაშხლებისა და ნაპირდამცავი კონსტრუქციების ხანგამძლეობისა და მდგრადობის განმაპირობებელი ძირითადი ფაქტორებია.

კაშხლებისა და წყალსაცავების ნაპირდამცავი ნაგებობების ავარიების პროგნოზირების თეორიის გამოყენება, რომელიც დაფუძნებულია ინტუიტიურ აზროვნებაზე და ძირითადი არამოწყველადი ფაქტორების გამოვლინებაზე – განაპირობებს არსებული ობიექტების სიცოცხლის გახანგრძლივებას. რთული საინჟინრო ამოცანის გადაჭრა – მთის წყალსაცავების შექმნა – ჯერ კიდევ სრულად არაა გადაწყვეტილი და დამუშავებული, ამიტომ ინტუიტიური აზროვნების გამოყენება შეიძლება მეტად სასარგებლო იყოს.

მაგალითად, აშშ-ში, ქვეყანაში, სადაც კაშხლების მშენებლობის დონე მსოფლიოში ყველაზე მაღალია, მომხდარი ავარიების მიზეზების

ანალიზმა აჩვენა, რომ ერთ-ერთი ძირითადი მიზეზია – კაშხალზე წყლის გადადინება (კაშხალი საუს-ფორკი, 1889 წ.; უოლნატ-გრუვი, 1889 წ.; ქვემო ოტაი, კალიფორნია, 1916 წ.; კანიონი, 1938 წ.; კელლი-ბარნეს-ჯორჯია, 1940 წ.). საქართველოში ორ მთის წყალსაცავზე – ლაბეზე და დალის მთაზე – კაშხლის დაზიანების ერთ-ერთი მიზეზი სწორედ მათზე წყლის გადადინება იყო (ცხრ. 3.8.1).

ამიტომ კაშხლის ზედა თხემის ნიშნულის სწორად განსაზღვრა მოითხოვს კაშხლების უსაფრთხოების მაჩვენებლების დახვეწას.

ავარიების რაოდენობრივი შეფასება – ამ შემთხვევაში წყლის გადადინება თხემზე – შემთხვევითი ხდომილობაა, ამიტომ ის დგინდება სტატისტიკური ან ალბათობის თეორიის მეთოდების მეშვეობით. ამ შემთხვევაში კაშხლების უსაფრთხოება განისაზღვრება კაშხლის ზედა ბიეფზე ტალღის აგორების ალბათური მოდელით.

მთის წყალსაცავების კაშხლების თხემის ზედა ნიშნული ($h_{\text{კ.}}$) განისაზღვრება დამოკიდებულებით [И.К. Иорданишвили, 1987, 2000]:

$$h_{\text{კ.}} = \nabla_{\text{max}} + h_{\text{runup } 1\%} + \Delta h_{\text{set}}^{\text{ტალ.}} + a, \text{ მ}, \quad (5.1.39)$$

სადაც ∇_{max} არის წყალსაცავში წყლის დონის მაქსიმალური ნიშნული; $h_{\text{runup } 1\%}$ – კაშხლის ზედა ბიეფზე 1%-იანი უზრუნველყოფის ტალღის აგორების სიმაღლე; $a = 0,5 \text{ მ}$ – ნაგებობების სიმაღლის მარაგი; $h_{\text{set}}^{\text{ტალ.}}$ – ტალღური მოდენის სიმაღლე.

ცალკეულ შემთხვევებში შეიძლება მოხდეს დისკრეტული ტალღის გადადინება თხემზე, რაც ნაგებობის სიმაღლის მარაგის არასწორად დადგენის შედეგია. ამიტომ კაშხლის თხემის ზედა საზღვრის დადგენა აუცილებლად უნდა მოხდეს კაშხლის ფერდობზე ტალღის აგორების ალბათური მოდელის გათვალისწინებით. კაშხლის ფერდობზე ტალღის აგორების სიმაღლის ალბათობის სიმკვრივე მიღებულია ორი დამოუკიდებელი ტალღური ფაქტორის საფუძველზე – ტალღის სიმაღლე და სიგრძე „ღრმა“ წყალზე.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ მთის წყალსაცავებში ტალღური მოდენის ზღვრული მნიშვნელობაა $0,5h_{\text{runup}}$ [И.К. Иорданишвили, 1987], მაშინ ექსტრემალურ შემთხვევაში კაშხლის ქიმის ნიშნული შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$h_{\text{კ.ბ.}} = K + 1,5h_{\text{runup } 1\%}, \quad (5.1.40)$$

სადაც $K = \nabla_{\text{max}} + 0,5 \text{ მ}$.

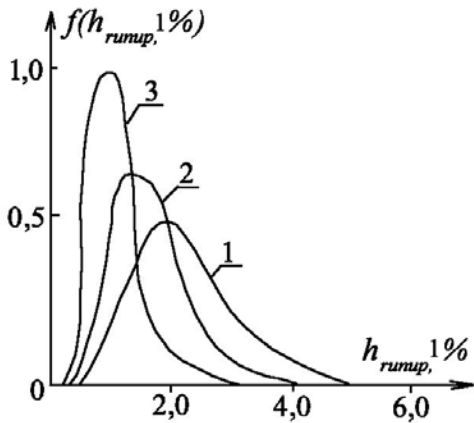
ამოცანის მიზანია ($h_{\text{runup } 1\%}$) ალბათობის სიმკვრივის განსაზღვრა, რომელიც, შესაბამისი გარდაქმნის შემდეგ, მიიღებს სახეს [И.К. Иорданишвили, 2000]:

$$f(h_{runup\ 1\%}) = 2,6 \left(\frac{h_{runup\ 1\%}}{h \cdot K_1} \right) \exp \left[0,65 \left(\frac{h_{runup\ 1\%}}{h} \right)^4 \right], \quad (5.141)$$

სადაც

$$K_1 = 3,8 \left[-47,3(1/m)^3 + 103,2(1/m)^2 - 68(1/m) + 15,8 \right] \cdot K_r \cdot K_{გაბ} \cdot f(h_d/\lambda_d) \quad (5.142)$$

ალბათობის სიმკვრივის რიცხობრივი რეალიზაცია მოყვანილია ნახ. 5.12-ზე.



ნახ. 5.12. $f(h_{runup\ 1\%})$ -ის ალბათობის სიმკვრივის ფუნქცია

- 1 - $h_{d\ 1\%} = 0,5$ მ; 2 - $h_{d\ 1\%} = 1,0$ მ;
3 - $h_{d\ 1\%} = 2,0$ მ; $m = 3,0$; $h_d/\lambda_d = 10$.

დინამიური მოქმედების გათვალისწინებით. მაშინ უმტყუნო მუშაობის ალბათობა $(1 - P)$ - საიმედოობის მაჩვენებლის ხარისხი. აკად. ც. მირცხულავას მიერ დამუშავებული ნაპირდამცავი ნაგებობების კლასიფიკაცია, მათი ფუნქციონირების ვადის შესაბამისად, შეიძლება ასეთი სახით იქნეს წარმოდგენილი:

- პირველი კლასის ნაპირდამცავი ნაგებობები, რომელთა მტყუნებას მოჰყვება მნიშვნელოვანი მატერიალური ზარალი ($P=0,99$; $t=1$ წელი);

- მეორე კლასის ნაპირდამცავი ნაგებობები, რომელთა მტყუნებას მოჰყვება მცირე მატერიალური ზარალი ($P=0,85$; $t=1$ წელი);

- მესამე კლასის ნაპირდამცავი ნაგებობები, რომელთა მტყუნებას მოჰყვება უმნიშვნელო მატერიალური ზარალი ($P=0,75$; $t=1$ წელი).

მნიშვნელოვანი სიმქისის მქონე ნაპირდამცავი გამაგრების ხანგრძლივობისა და საიმედოობის შეფასება აგორებული ნაკადის მოქმედებისას ხორციელდება ზღვრული მდგომარეობის დადგენისას,

მაშინ კაშხლის თხემზე წყლის არგადადინების ალბათობა იქნება:

$$P = \int_0^{2P} f(h_{runup\ 1\%}) dh_{runup\ 1\%} \quad (5.143)$$

როგორც ნახ. 5.12-ზე ვხედავთ, შემთხვევითი სიდიდის ($h_{runup\ 1\%}$)-ის გაზრდით იზრდება (P)-ს შემთხვევითი მნიშვნელობები, რაც ნიშნავს ავარიების პროგნოზირების აუცილებლობას.

მსგავსი მეთოდით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ნაპირდამცავი ნაგებობების საიმედოობის შესაფასებლად, ტალღის

დინამიური მოქმედების გათვალისწინებით. მაშინ უმტყუნო მუშაობის

ალბათობა $(1 - P)$ - საიმედოობის მაჩვენებლის ხარისხი. აკად.

ც. მირცხულავას მიერ დამუშავებული ნაპირდამცავი ნაგებობების

კლასიფიკაცია, მათი ფუნქციონირების ვადის შესაბამისად, შეიძლება

ასეთი სახით იქნეს წარმოდგენილი:

- პირველი კლასის ნაპირდამცავი ნაგებობები, რომელთა მტყუნებას

მოჰყვება მნიშვნელოვანი მატერიალური ზარალი ($P=0,99$; $t=1$ წელი);

- მეორე კლასის ნაპირდამცავი ნაგებობები, რომელთა მტყუნებას

მოჰყვება მცირე მატერიალური ზარალი ($P=0,85$; $t=1$ წელი);

- მესამე კლასის ნაპირდამცავი ნაგებობები, რომელთა მტყუნებას

მოჰყვება უმნიშვნელო მატერიალური ზარალი ($P=0,75$; $t=1$ წელი).

რომლის დროსაც გამაგრების სისქე (d_c) მიაღწევს დასაშვებ სისქეს (d_g). იმ შემთხვევაში, თუ ცვეთის სისქე (d_c) მიაღწევს დასაშვებ სისქეს ან აღემატება მას, მაშინ საიმედოობის ტერმინოლოგიის გამოყენებით – მოხდება მტყუნება.

5.2. მთის წყალსაცავების შემტობრაში ნაგებობების ეკოლოგიური საიმედოობის შეფასება

შემტობრაში ნაგებობების – კაშხლების – დაძველების თავიდან აცილების სწავლების ფუძემდებელი, აკად. ც. მირცხულავა, მიანიშნებს, რომ ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ცალკეული ელემენტების მტყუნებისას, ისინი ნაწილობრივ არ კარგავენ მუშაობის უნარს. მხოლოდ მცირდება მათი ეფექტურობის მახასიათებლები. კაშხლების დაზიანებისას შესაძლებელია ადამიანთა მსხვერპლიც.

ადამიანსა და კაშხლებს შორის დაბერების მსგავსება შეიძლება გამოყენებულ იქნეს კაშხლების სიცოცხლის ხანგრძლივობის ანალიზისას გომპერც-მეიკჰემის ფორმულის ანალიზით. სიკვდილი – ეს ობიექტის მწყობრიდან გამოსვლაა [Ц.Е. Мирцхулава, 2007].

მწყობრიდან გამოსული კაშხლების რაოდენობასთან ერთად უნდა ფიქსირდებოდეს, თუ რამდენი ობიექტი ფუნქციონირებს ნორმალურად მოცემულ ასაკამდე, ყოველი ასაკის ობიექტისათვის როგორია ალბათობა, რომ გააგრძელოს ნორმალური ფუნქციონირება შემდეგ წლამდე ან გამოვიდეს მწყობრიდან, როგორია ფუნქციონირების საშუალო ხანგრძლივობა და ა.შ.

აბსტრაგირებული მონაცემები მოყვანილია ცხრილში 5.2.1 [Ц.Е. Мирцхулава, 2007].

ცხრილი 5.2.1

კაშხლების მტყუნების აბსტრაგირებული მონაცემები

ნაგებობის წლოვანება, წლები, t	ფუნქციონირებადი ნაგებობების რიცხვი l წლამდე	t წლოვანებიდან $t+1$ წლამდე ნაგებობების მტყუნებათა (მწყობრიდან გამოსვლა) რიცხვი	მტყუნების ალბათობა q_t	ფუნქციონირების ალბათობა $(t+1)$ - მდე, P_t
50	6136	316	0,0515	0,9495
55	5820	415	0,0714	0,9186
60	5405	435	0,0805	0,9195
65	4970	445	0,0895	0,9129

l_t – აშენებული და t წლამდე ფუნქციონირებადი ნაგებობების რაოდენობა; ეს არის ნაგებობების რაოდენობა, რომელიც აშენებიდან თანდათან მცირდება. ნაგებობების საწყისი რაოდენობა იქნება l_0 , ხოლო 1 წლამდე ფუნქციონირებისას – l_1 , 2 წლამდე – l_2 და ა.შ.;

d_t – t -დან $t+1$ წლამდე მწყობრიდან გამოსულ ობიექტთა რაოდენობა;

P_t – ობიექტების ფუნქციონირების ხანგრძლივობის ალბათობა t -დან $t+1$ წლამდე. იგი გვიჩვენებს, თუ ობიექტების რა ნაწილი აღწევს $t+1$ წლამდე;

L_t – t -დან $t+1$ წლამდე ფუნქციონირებადი ობიექტების საშუალო რაოდენობა;

l_t^0 – ობიექტების ფუნქციონირების საშუალო ხანგრძლივობა.

ახალაშენებული ობიექტებისათვის l_0^0 წლოვანება იქნება 0,5; 1,5; 2,5, მაშინ:

$$l_0^0 = \frac{\int_0^{\infty} l_t dt - \sum_0^{\omega} L_t}{l_0}, \quad (5.2.1)$$

სადაც ω არის ობიექტის ფუნქციონირების ზღვრული წლოვანება; L_t – ყოველ ასაკში ფუნქციონირებადი ობიექტების საშუალო რაოდენობა.

ობიექტების მტყუნების ცხრილები შეიძლება შედგეს ერთწლიანი, ხუთწლიანი და სხვა ინტერვალებით. ცხრილის მანვენებლების ურთიერთკავშირი შეიძლება გამოვითვალოთ შემდეგნაირად:

$$\begin{aligned} d_t &= l_t - l_{t+1} \\ P_t &= \frac{l_{t+1}}{l_t} = \frac{l_t - d_t}{l_t} \\ P_t + q_t &= 1 \\ L_t &= \int_t^{t+1} l_i d_i = \frac{1}{2}(l_t + l_{t+1}) \end{aligned} \quad (5.2.2)$$

ობიექტების მწყობრიდან გამოსვლისა და ფუნქციონირების საშუალო ხანგრძლივობის განსაზღვრის ამოცანა ეფუძნება მათი მწყობრიდან გამოსვლის მიზეზების მოცილებას. ამ დროს ერთი წლის განმავლობაში მტყუნების ალბათობა შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით:

$$q_t = \frac{d_t(t - W_t)}{l_t - 0,5d_t W_t}, \quad (5.2.3)$$

სადაც $W_t - t$ წლოვანების ობიექტის მწყობრიდან გამოსვლის მიზეზის ნაწილია.

q_t შედარებით მცირე სიდიდეა, ამიტომ ობიექტების ფუნქციონირების საშუალო ხანგრძლივობა რეალურზე მეტია, როგორც უნდა იყოს მტყუნების მიზეზის აღმოფხვრის დროს.

რადგან დომინირებული შემადგენლის პროგნოზირება საკმაოდ რთული ამოცანაა, ამიტომ მტყუნების ინტენსივობის მაჩვენებლების შესაფასებლად გამოვიყენოთ გომპერც-მეიკჰემის ფორმულის ერთ-ერთი მოდიფიკაცია – ტილეს ფორმულა [Ц.Е. Мирцхулава, 2007]:

$$\lambda(t) = a e^{bt}, \quad (5.2.4)$$

სადაც

$$\lambda(t) = \frac{2q_t}{1 + P_t}, \quad (5.2.5)$$

$\lambda(t)$ – კაშხლების მტყუნების (მწყობრიდან გამოსვლის) ინტენსივობაა; t – წლოვანება; q_t – კვდომის ალბათობა t -დან $t+1$ ასაკში; P_t – t -დან $t+1$ წლამდე სიცოცხლის ალბათობა.

თუ ორი ასაკისათვის ცნობილია q_t და P_t , მაშინ შეიძლება განისაზღვროს a და b . $\lambda(t)$ -ს მიმართ განტოლების ამოხსნით ნებისმიერი t -სთვის, განისაზღვრება q_t ნებისმიერი ასაკისათვის.

მაგალითი 1. კაშხლებზე დაკვირვების აბსტრაგირებული ცხრილებიდან გვაქვს:

$$q_{50} = \frac{316}{6136} = 0,0515, \quad q_{55} = \frac{415}{5810} = 0,0714, \quad P_{50} = 0,9495, \quad P_{55} = 0,9286$$

(5.2.5) ფორმულით იქნება:

$$\lambda_{50} = \frac{2 \cdot 0,0515}{1 + 0,9495} = 0,0528, \quad \lambda_{55} = \frac{2 \cdot 0,0714}{1 + 0,9286} = 0,07406.$$

განტოლებათა სისტემის ამოხსნა a და b -ს მიმართ გვაძლევს:

$$a e^{50b} = 0,0528, \quad a e^{55b} = 0,07406$$

აქედან $a = 0,0018$, $b = 0,0676$.

მაშასადამე, მწყობრიდან გამოსვლის ინტენსივობა, მოცემული ცხრილიდან, იქნება:

$$\lambda(t) = 0,0018 e^{0,0676t} \quad (5.2.6)$$

გაანგარიშებებისა და დაკვირვებების შედარება გვიჩვენებს, რომ შემოთავაზებული სქემები ადეკვატურად აღწერს ფუნქციონირების

ხანგრძლივობას 30-დან 70 წლამდე.

კაშხლის ზედა ფერდის ბეტონით მოპირკეთების საიმედოობის დადგენა ერთ-ერთი ნაკლებად შესწავლილი პრობლემაა, რადგან არ ითვალისწინებოდა მოპირკეთების ცვეთის პროცნოზი.

ბეტონის მოპირკეთების ცვეთის ინტენსივობა, რომელიც დამოკიდებულია ცვეთის უნარიანობაზე, შეიძლება გამოვსახოთ დიფერენციალური განტოლებით [Ц.Е. Мирцхулава, 1974]:

$$\frac{dH}{dt} = aH, \quad (5.2.7)$$

სადაც a – ცვეთის მუდმივაა. მისი მნიშვნელობა შეიძლება დადგინდეს ექსპერიმენტებისა და დაკვირვებების საფუძველზე, მოპირკეთების ტიპის, ხარისხისა და თვისებების გათვალისწინებით.

(5.2.7) განტოლების ინტეგრირებით მივიღებთ დამოკიდებულებას:

$$H = H_0 e^{-at} \quad (5.2.8)$$

ფორმულა (5.2.8) არენიუსისა და ევინგომის კანონის ანალოგიურია.

ფარდობით კოორდინატებში ცვეთა შეიძლება შემდეგნაირად გამოისახოს:

$$h = 1 - \frac{H}{H_0} = \frac{H_0 - H}{H_0} = \frac{H_0 - H_0 e^{-at}}{H_0}, \quad (5.2.9)$$

სადაც e – ნეპერის რიცხვია.

მოპირკეთების ცვეთის სისქის (h)-ის გათვალისწინებით, მოპირკეთების დაცულობა იქნება:

$$\Pi = 1 - h, \quad (5.2.10)$$

მაშინ

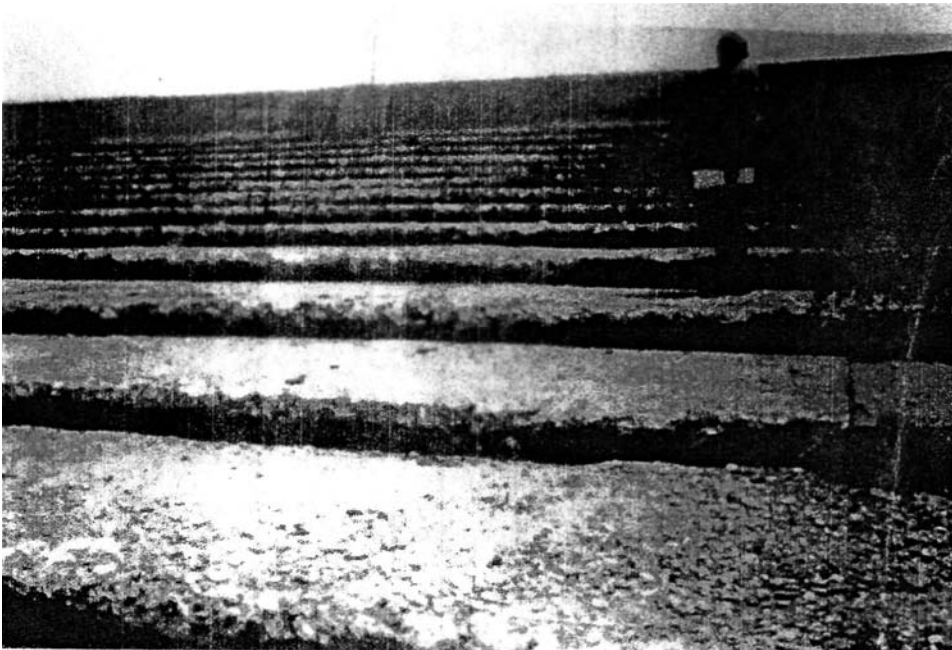
$$\Pi = \frac{H}{H_0} = e^{-at}. \quad (5.2.11)$$

(5.2.11)-ის გამოყენებით შეიძლება იმ პერიოდის გაანგარიშება, რომლის განმავლობაშიც მოპირკეთების სისქე (H) გაცვდება საანგარიშო მნიშვნელობებამდე. ამ განტოლების გამოყენებით შეიძლება დავადგინოთ რემონტთა შორის პერიოდის ხანგრძლივობა, თუ გვეცოდინება, რომ მოპირკეთებას დასჭირდება რემონტი მისი სისქის წინასწარ განსაზღვრული ცვეთის შემდეგ.

თუ გვეცოდინება მოპირკეთების დასაშვები სისქის მნიშვნელობა, მაშინ (5.2.11)-ის გამოყენებით შეიძლება დადგინდეს ის საშუალო პერიოდი, რომელიც საჭიროა მისი ცვეთის ზღვრულ სისქემდე.

ნაკადის სიჩქარის ზღვრულ მნიშვნელობად შეიძლება მივიღოთ

$$V_{\text{საანგ.}} = 25 \text{ მ/წმ [Ц.Е. Мирцхулава, 1974], მაშინ } a = \frac{1}{25} = 0,04.$$



ნახ. 5.2.1. მონოლითური რკინა-ბეტონის დაზიანებული ფილებით
მოპირკეთებული სიონის კაშხლის ზედა პრიზმა (2006 წ.)

მაგალითი 2. სიონის წყალსაცავის ზედა ბიეფის ბეტონის მოპირკეთების საიმედოობის ანგარიში.

მონიტორინგის მეშვეობით, რომელიც ჩატარდა სამეცნიერო ჯგუფის მიერ, დადგინდა, რომ სიონის კაშხლის 45 წლის ექსპლუატაციის განმავლობაში ზედა ბიეფის მოსაპირკეთებელი რკინა-ბეტონის ფილების 50%-ის სისქე (50 სმ) შემცირდა 40 სმ-მდე (ნახ. 5.2.1). რემონტითა შორის პერიოდის დასადგენად (თუ ვიცით, რომ რემონტი აუცილებელია მოპირკეთების 8 მმ-ით შემცირების შემდეგ) გამოვიყენოთ ფორმულა (5.2.7):

$$H = H_0 l^{-at}, \quad 40 = 50 l^{-at}, \quad 40 = 50 l^{-45},$$

საიდანაც მივიღებთ, რომ 45 წლის ექსპლუატაციის შემდეგ $a=0,00456$, აქედან:

$$t_{\text{საანგ.}} = \frac{1}{a} \ln \frac{H_0}{H_{\text{საანგ.}}},$$

მაშინ რემონტითაშორისი პერიოდი:

$$t_{\text{საანგ.}} = \frac{1}{a} \ln \frac{50}{49.2} = 4,34,$$

მაშასადამე, $t_{\text{საანგ.}} = 4,34$ წელი.

5.3. მთის წყალსაცავების ტაფობის ექსპლუატაციის ხანგრძლივობის ეკოლოგიური საიმედოობის შეფასება

საქართველოს წყალსაცავების დაღეჭვისა და დაღამვის შეფასების საკითხები მეტად მნიშვნელოვანია, რადგან ისინი გასული საუკუნის შუა წლებშია შექმნილი და უკვე „დაბერების“ (დაძველების), ანუ მათი ფუნქციონირების საიმედოობის შემცირების სტადიაშია.

მთის წყალსაცავების თავისებურებების გათვალისწინებით (გეომორფოლოგიური, რეგიონალური, შიდა წყალსაცავური თავისებურებები, გახშირებული წყალდიდობები), უკვე დგას მთის წყალსაცავების დაღეჭვისა და დაღამვის პროგნოსტიკული გაანგარიშების აუცილებლობა.

საქართველო მთიანი ქვეყანაა და ამიტომ მის ტერიტორიაზე შექმნილი წყალსაცავები მთის ტიპის წყალსაცავებს მიეკუთვნება [Н.Г. Варазашвили, 2002; И.К. Иорданишвили, 2004].

მთის წყალსაცავების დაღეჭვის (დაღამვის) პროგნოზირებისათვის საჭიროა ყველა მოქმედი ფაქტორის გათვალისწინება. ესენია: წყალსაცავის სრული ($V_{\text{სრ}}$) და სასარგებლო ($V_{\text{სახ}}$) მოცულობა; მათი თანფარდობის მნიშვნელობა ($V_{\text{სრ}}/V_{\text{სახ}}$); წყალსაცავის საშუალო სიღრმისა

(*H*) და საშუალო სიგანის (*B*) თანაფარდობა; წყალსაცავში მდინარეების წყლის საშუალო წლიური ჩამონადენი, რომელიც აღინიშნება ბოლო წლების მანძილზე გლობალური დათბობის ფონზე (და არა საშუალო წლიური) ($W_{საშ}$)*; ნატანის საშუალო წლიური ჯამური ჩამონადენი წყალსაცავში (W_6); წყალსაცავის დაღეჭვისა და დაღამვის მოცულობები პირველ (W'_6) და მეორე (W''_6) სტადიაში; გასაშუალოებული მდინარეული ნატანის ჰიდრაულიკური სიმსხო (ω).

ნატანის მკვრივი ფაზის მოცულობითი წონა (ფსკერული ნატანი) – γ_6 ; წყალსაცავის ქვაბულში ძირითადი მდინარის ჩადინების საშუალო სიღრმე ($\bar{H}_{მდ}$) და წყალსაცავის საანგარიშო სიღრმე – (H_i); წყალსაცავში მდინარის წყლის ჩადინების სიჩქარისა ($V_{მდ}$) და წყალსაცავის საანგარიშო კვეთში დინების სიჩქარის (V_i) შეფარდება საშუალო წლიური პერიოდისათვის, რომელიც ბოლო 10 წლის მანძილზე გამოირჩევა გასშირებული ინტენსივობით და ჩამონადენის ზრდით, რაც გამოწვეულია გლობალური დათბობით.

წყალსაცავის დაღეჭვის (დაღამვის) პროცესის შეფასება ხდება მდინარის კალაპოტის მოცულობის ($W_{მდ}$) (რომელშიც ხდება მოცემული ფრაქციული შემადგენლობის საანგარიშო ნატანისა და წყლის საანგარიშო ხარჯის ტრანსპორტირება) წყალსაცავის მოცულობასთან ($V_{სრ}$) შეფარდებით. შემოთავაზებულია საანგარიშო მოდელი:

$$W_{საანგ.} = B_{მდ} \cdot H_{მდ} \cdot L_{წყალს.} \approx (Q_{საშ.წლ.}) \cdot L_{წყალს.}, \quad (5.3.1)$$

სადაც $B_{მდ}$ და $H_{მდ}$ – შესაბამისად, მდინარის საანგარიშო სიღრმე და სიგანეა; $L_{წყალს.}$ – წყალსაცავის სიგრძე; $Q_{საშ.წლ.}^*$ – წყლის საშუალო ხარჯი წყალდიდობისას; $V_{მდ}$ – ნაკადის სიჩქარე მდინარეში წყალდიდობისას; $W_{მდ}$ – მდინარის კალაპოტის მოცულობა.

რუსეთის, აშშ-ს, უზბეკეთისა და ჩვენი კვლევების თანახმად,

*) გლობალური დათბობისა და გასშირებული წყალდიდობების გამო მითითებული მაჩვენებლის პროგნოზირება აუცილებელია ჩატარდეს არა მრავალწლიური საშუალო წლიური ჩამონადენის საანგარიშებით, არამედ ბოლო წლებში აღინიშნული მდინარეების საშუალო წლიური ჩამონადენის ($W_{საშ}$) და ამ პერიოდისათვის შესაბამისი ნატანის საშუალო წლიური მნიშვნელობის (W_6) გათვალისწინებით.

*) აქ და შემდგომ მხედველობაში გვაქვს წყლის ის ხარჯი, რომელიც აღინიშნება ბოლო წლებში, გლობალური დათბობის პერიოდში.

წყალსაცავის ამღვრევის***) ცვლილების ხარისხი შეიძლება გაიყოს ორ ზონად [В.А. Скрыльников, 1988; И.К. Иорданишвили, 2009]:

– პირველ ზონაში ამღვრევის ხარისხი მუდმივი რჩება და 1-ის ტოლია ($\varepsilon = 1$);

– მეორე ზონაში, იმის მიხედვით, თუ როგორ იზრდება $W_{\text{საანგ.}}/V_{\text{სრ.}}$, ამღვრევის ხარისხი მცირდება 1-დან 0-მდე. თუ არ გავითვალისწინებთ გარეცხვებს ზედა ბიეფიდან, მაშინ პირველ ზონას შეესაბამება დალექვის პირველი სტადია, როდესაც ხდება ნატანის სრული დალექვა და, ე.ი. $\varepsilon = 1$.

მეორე ზონაში გადასვლისას იწყება დალექვის მეორე სტადია, რომლის დროსაც ხდება შეტივტივებული ნატანის ქვედა ბიეფში გამოტანა, ნატანის დალექვის პირველი სტადიიდან მეორე სტადიაში გადასვლის მაჩვენებელია $W_{\text{საანგ.}}/V_{\text{სრ.}} = 0,12$, მაშინ, თუ წყალსაცავის მოცულობა ($V_{\text{სრ.}}$) აკმაყოფილებს პირობას:

$$V_{\text{სრ.}} \leq (W_{\text{საანგ.}}/0,12) = 8,33W_{\text{საანგ.}} \quad (5.3.2)$$

მაშინ დალექვის პროცესი შემოიფარგლება პირველი სტადიით (ნახ. 5.3.1). წინააღმდეგ შემთხვევაში დალექვის პროცესი გრძელდება მეორე სტადიაში.

თუ მივიღებთ, რომ წყალსაცავის დალექვის ანგარიში მიმდინარეობს ნატანის ბალანსის განტოლების თანახმად:

$$dW = \varepsilon Q_{\sigma_1} dt, \quad (5.3.3)$$

მაშინ პირველი სტადიისათვის $\varepsilon = 1$ და დალექვის მოცულობა იქნება:

$$W'_\sigma = \int_0^t Q_{\sigma_1} dt = Q_{\sigma_1} \cdot t' \quad (5.3.4)$$

წყალსაცავის დალექვის დრო პირველ სტადიაში იქნება:

$$t' = W'_\sigma / Q_{\sigma_1} = (W_\sigma - 8,33W_{\text{საანგ.}} / Q_{\sigma_1}), \quad (5.3.5)$$

სადაც Q_{σ_1} – ნატანის საშუალო წლიური ჩამონადენია, რომელიც გამოწვეულია ბოლო 10 წლის მანძილზე გახშირებული და გადიდებული წყალდიდობებით.

მსხვილი და ღრმა წყალსაცავების შემთხვევაში, როდესაც:

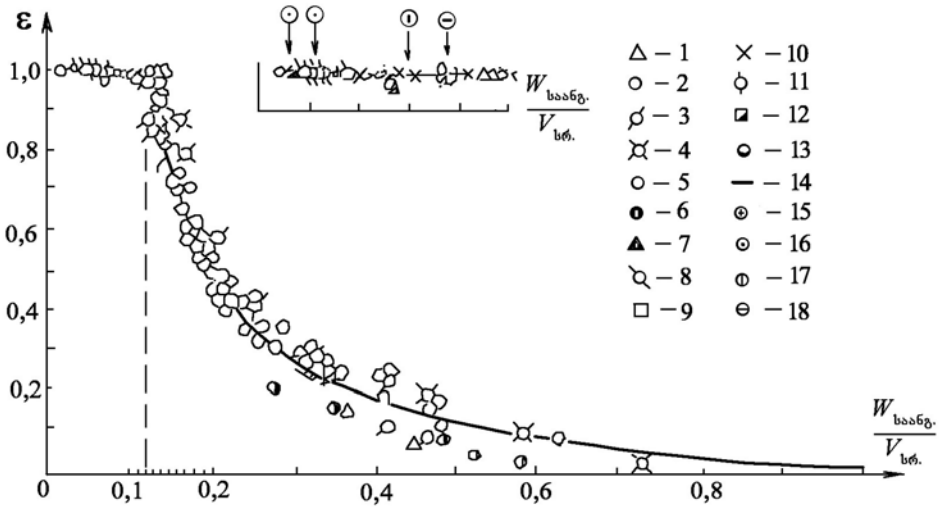
$$W_\sigma \leq 8,33W_{\text{საანგ.}} \leq (0,05 \div 0,06)V_{\text{სრ.}} \quad (5.3.6)$$

მეორე სტადიის ანგარიში შეიძლება უარყოფთ, ნატანის გამოტანის

**) აქ და შემდგომ ტერმინი „ამღვრევა“, ჩვენი აზრით, უფრო შეესაბამება განსახილველ მოვლენას, ვიდრე ტერმინი „გაღიავენა“ (осветление), რომელიც მიღებულია რიგი მკვლევარების მიერ.

პერიოდი ბევრად მცირეა საერთო პერიოდზე და წყალსაცავის ფუნქციონირების პერიოდი შეიძლება გამოისახოს დამოკიდებულებით:

$$T = V_{\text{სრ.}} / Q_5 \quad (5.3.7)$$



ნახ. 5.3.1. წყალსაცავის დაღეჭვის პროცესის გრაფიკი პირველ და მეორე ზონაში (სტადიაში)

1. ფარხადის ბიეფი, 1949 წ.; 2. იგივე, 1951 წ.; 3. იგივე, 1952 წ.; 4. ხიშრაუსის ბიეფი, 1958 წ.; 5. ლაბორატორიული მონაცემები; 6. ყარაყუმის წყალსაცავი; 7. ტაშეერპრინის წყალსაცავი (1939-1961 წწ.); 8. ტეჯენის წყალსაცავი (1950-1959 წწ.); 9. ბოზ-სუსის ბიეფი; 10. ლაბორატორიული ბიეფი №1; 11. ოსტინის წყალსაცავი (აშშ); 12. ბოსენი (აშშ); 13. უჩკურგანის ჰესის ბიეფი; 14. ფორმულა (5.3.8); 15. სიონის წყალსაცავი (საქართველო); 16. თბილისის წყალსაცავი, 2009 წ.; 17. ჟინვალის წყალსაცავი; 18. ჯვრის წყალსაცავი, 2009 წ.

შემოთავაზებული მეთოდის განსხვავების თავისებურებაა ის, რომ მისი გამოყენებით შეიძლება მარტივად განვსაზღვროთ წყალსაცავის დაღეჭვის პირველი სტადიის პერიოდი – წყალსაცავის საპროექტო მოცულობის ($V_{\text{სრ.}}$) გაყოფით ნატანის წლიურ ჩამონადენზე (Q_n).

მაგალითად, 45 წლის ექსპლუატაციის მანძილზე სიონის წყალსაცავის*) დაღეჭვის საანგარიშო მოცულობა შეიძლება განვსაზღვროთ (5.3.4)-ის გამოყენებით:

$$W'_\sigma = \int Q_\sigma dt' = Q_\sigma t' = 0,5 \cdot 45 = 22,0 \text{ მლნ.მ}^3.$$

ამ მეთოდის გამოყენებადობა დასტურდება (5.3.6) პირობით, რომლის შესაბამისად, $W'_\sigma = 22,0 \text{ მლნ.მ}^3 < 0,06 V_{\text{სრ.}} = 0,06 \cdot 325,0$, რომლის

*) სიონის წყალსაცავი ექსპლუატაციაში შევიდა 1963 წელს.

მიხედვითაც სიონის წყალსაცავი ჯერ კიდევ დაღეკვის პირველ სტადიაში იმყოფება.

სიონის წყალსაცავზე ჩატარებული ექსპედიციის მეშვეობით დადგენილია, რომ:

- ექსპლუატაციის 30 წლის მანძილზე (1963-1993 წწ.) სიონის წყალსაცავში (საპროექტო მოცულობა – 325,0 მლნ.მ³) დაგროვდა 13,09 მლნ.მ³ ნატანი, ხოლო ექსპლუატაციის 45 წლის მანძილზე (1963-2008 წწ.) – 24,667 მლნ.მ³. დაღამის პროცესი, ძირითადად, მიმდინარეობს კაშხალთან, თუმცა ღამოვან დანალექებში (20 მ სისქის) გვხვდება ცალკეული ქვები დიამეტრით 0,3 მ-მდე, რომლებიც ჩამოტანილია წყალსაცავში წყალდიდობების დროს, ახლომდებარე სრამებიდან;
- წყალსაცავის ზედა ნაწილში მიმდინარეობს დაღეკვის პროცესები.

ამრიგად, შემოთავაზებული მეთოდიკით გამოთვლილი დაღეკვის პირველი სტადიის შედეგები ($(W'_\sigma)_{საანგ.} = 22,0$ მლნ.მ³) და ფაქტობრივი მონაცემების ($(W'_\sigma)_{ფაქტ.} = 24,66$ მლნ.მ³) დამთხვევა ადასტურებს რეკომენდებული მეთოდების საიმედოობას.

წყალსაცავის დაღეკვის მეორე სტადიაში, ამღვრვის ხარისხი განისაზღვრება ფორმულით [В.А. СКРЫЛЬНИКОВ, 1988]:

$$\varepsilon = 0,041(W_{საანგ.}/W_6)^{-1,5}, \quad (5.3.8)$$

რომელიც წარმოდგენილია ნახ. 5.3.1-ზე უწყვეტი ხაზით.

(5.3.3) და (5.3.8) დამოკიდებულებების გამოთვლისას მეორე სტადიის დაღეკვის პერიოდი იქნება:

$$t'' = \frac{48,8W_\sigma''^{1,5}}{Q_\sigma} \left(\frac{1}{\sqrt{W'_\sigma - W''_\sigma}} - \frac{1}{\sqrt{W'_6}} \right), \quad (5.3.9)$$

შესაბამისად, დანალექის მოცულობა იქნება:

$$W''_\sigma = W'_\sigma - \frac{1}{\left(\frac{tQ_\sigma}{48,8W_{საანგ.}^{1,5}} + \frac{1}{W'_\sigma} \right)} \quad (5.3.10)$$

1963 წელს ექსპლუატაციაში შესულ სიონის წყალსაცავში ექსპლუატაციის 45 წლის მანძილზე (2008 წლისათვის) დაგროვდა 24,667 მლნ.მ³ ნატანი. 2008 წლისათვის წყალსაცავის მოცულობა შემცირდა და შეადგენს 325,0 – 24,667 = 300,373 მლ.მ³-ს (საპროექტო მოცულობის 93%).

სიონის წყალსაცავის უმტყუნო მუშაობის საიმედოობის დასადგენად ჩატარდა ანგარიში, რომელიც ეფუძნება წყალსაცავის გაწმენდის

იმ საიმედოობის (P_{φ}) დადგენას, რომლის დროსაც წყალსაცავს არ დასჭირდება გაწმენდა 5 წლის მანძილზე თუნდაც 2-ჯერ [Ц.Е. Мирчулава, 1974]:

$$P_{\varphi} = P_{(b=k)} = \frac{e^{-a}}{k!} a^k, \quad (5.3.11)$$

სადაც $a=2$ არის განაწილების პარამეტრი; $k=5$ – შემთხვევითი სიდიდე, რომლის განაწილების დისპერსია, ამ შემთხვევაში, ექვემდებარება პუასონის განაწილებას; e – ნეპერის რიცხვი.

ამოცანის ამოხსნა. თუ დავუშვებთ, რომ წყალსაცავის გაწმენდების რაოდენობა ექვემდებარება პუასონის განაწილების კანონს, მაშინ $a=2$, $k=5$. (5.3.12)-ის თანახმად, იმის ალბათობა, რომ 5 წლის მანძილზე წყალსაცავს არ დასჭირდება გაწმენდა 2-ზე მეტად მაინც, იქნება:

$$P_{k=5} = \frac{2^5 \cdot e^{-2}}{5!} = 0,0361, \quad (5.3.12)$$

საიდანაც ჩანს, რომ წყალსაცავს 5 წლის მანძილზე არ სჭირდება 2-ზე მეტჯერ გაწმენდა ალბათობით: $P=1-0,0361=0,9639$.

ამრიგად, წყალსაცავის უმტყუნო მუშაობისათვის საჭიროა, რომ მისი საიმედოობა საკმაოდ მაღალი იყოს. ნათელია, რომ წყალსაცავის ექსპლუატაციის ვადის გასაზრდელად აუცილებელია მექანიკური და ჰიდრაულიკური გაწმენდა რეგულარულად, ტყის მასივების აღდგენა და ახალი მასივების შექმნა, მდინარეების კალაპოტების ეროზიული პროცესების სტაბილიზაცია და ა.შ.

ანალოგიური კვლევები ჩატარდა თბილისის, ჯვრისა და ჟინვალის წყალსაცავებზე. კვლევების შედეგებმა გვიჩვენა, რომ ეს წყალსაცავები ჯერ დაღეპვის პირველ სტადიაშია და მათი უმტყუნო მუშაობისათვის საჭიროა საიმედოობის მაღალი მნიშვნელობა.

5.4. არხების ექსპლუატაციის ხანგრძლივობის ეკოლოგიური საიმედოობის შეფასება

სტატისტიკური დაკვირვებების მეშვეობით, რომლებიც ჩატარდა ზემო სამგორის სარწყავი სისტემის არხებზე ბეტონის ფილების წყობიდან გამოსვლაზე, მტყუნების ცხრილში, რომლის სტრიქონები, ზემოთ მითითებული კლასიფიკაციის თანახმად, დაყოფილია ოთხ ასაკობრივ ერთნაირ ჯგუფად (ცხრ. 5.4.1), სადაც l_i – მათი აშენების დღიდან (t) წლამდე ფუნქციონირებადი ფილების რაოდენობაა, რომლის მნიშვნელობაც მცირდება მათი წყობიდან გამოსვლით; l_0 – ფილების რაოდენობა დასაწყისში; $l_1, l_2 \dots l_n$ – ფილების რაოდენობა 1, 2, ..., n წლის

შემდეგ; d_i – (t) წლიდან $(t+1)$ წლამდე წყობიდან გამოსული ფილების რაოდენობა; P_i – მტყუნებამდე ფილების ფუნქციონირების საიმედოობა (t) წლიდან $(t+1)$ წლამდე. ეს მაჩვენებელი გვიჩვენებს, თუ ფილების რა ნაწილი აღწევს $(t+1)$ ასაკამდე; g_i – მტყუნების ალბათობა – გვიჩვენებს, თუ (t) ასაკის ფილების რა ნაწილი გამოდის წყობიდან $(t+1)$ ასაკამდე; L_i – ფილების რაოდენობა, რომლებიც აგრძელებს ფუნქციონირებას (t) -დან $(t+1)$ წლამდე; l_i^0 – მომავალი ფუნქციონირების საშუალო ხანგრძლივობა.

$$l_i^0 = \frac{\int_0^{\omega} l_t dt - \sum_0^{\omega} L_t}{l_0}, \quad (5.4.1)$$

სადაც ω – ობიექტის ფუნქციონირების ზღვრული ასაკია.

ცხრილის მტყუნების მაჩვენებლების დამოკიდებულება განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებებით:

$$\begin{aligned} d_t &= l_t - l_{t+1} \\ P_t &= \frac{l_{t+1}}{l_t} = \frac{l_t - d_t}{l_t} \\ P_t + g_t &= 1 \\ L_t &= \int_t^{t+1} l_t d_t \cong \frac{1}{2}(l_t + l_{t+1}) \end{aligned} \quad (5.4.2)$$

ერთი წლის მანძილზე მტყუნების ალბათობის ინტენსივობა შეიძლება გამოვიანგარიშოთ ფორმულით:

$$g_t = \frac{d_t(1 - W_t)}{l_t - 0.5d_t W_t}, \quad (5.4.3)$$

სადაც W_t – (t) ასაკის ობიექტების წყობიდან გამოსვლის წილია.

მაგალითი 1. გამოვიანგარიშოთ არხის წყობიდან გამოსვლის ინტენსივობა ტილეს ფორმულით, ცხრ. 5.4.1-ში მოცემული არხის ფუნქციონირების მონაცემების მეშვეობით.

$$\begin{aligned} \text{გვაქვს: } g_2 &= \frac{16}{500} = 0.0320; & g_8 &= \frac{21}{427} = 0.0491; \\ P_2 &= \frac{500 - 16}{500} = 0.968; & P_8 &= \frac{427 - 21}{427} = 0.9508; \\ \lambda_2 &= \frac{2 \cdot 0.0320}{1 + 0.968} = 0.0325; & \lambda_8 &= \frac{2 \cdot 0.0491}{1 + 0.9508} = 0.0503. \end{aligned}$$

განტოლებების სისტემის ამოხსნა a და b -ს მიმართ გვაძლევს: $a e^{2a} = 0.0325$; $b e^{8b} = 0.0503$; საიდანაც $a = 0.0306$ და $b = 0.0373$.

ზემო სამგორის სარწყავი სისტემის არხების ელემენტების
(ბეტონის ფილები) მტყუნების ცხრილი ($l_0 = 500$ ფილა)

არხის ასაკი წლებში, (t)	ფუნქციონირებადი ბეტონის ფილების რაოდენობა (t) ასაკამდე, l_i	წყობიდან გამო- სული ბეტონის ფილების რაოდენობა (t) ასაკიდან $(t+2)$ ასაკამდე, d_i	წყობიდან გამო- სული ბეტონის ფილების საერთო რაოდენობა (t) ასაკიდან $(t+2)$ ასაკამდე, $\sum d_i$	მტყუნების (წყობიდან გამოსვლის) ალბათობა, $g_i = d_i / l_i$	ფუნქციონირების ალბათობა (t) ასაკიდან $(t+1)$ ასაკამდე, $P_i = \frac{l_i - d_i}{l_i}$	მტყუნების (წყობიდან გამოსვლის) ინტენსივობა, $\lambda_i = \frac{2g_i}{1 + P_i}$	წყობიდან გამოსვლის (მტყუნების) ინტენსივობის ფორმულა, $\lambda(t) = a e^{bt}$
1	2	3	4	5	6	7	8
2	500	16	16	0.0320	0.968	0.0325	$\lambda(t) = a e^{bt}$ $\lambda(t) = 0.0306 e^{0.0372t}$
4	484	18	34	0.037	0.9628	0.0377	
6	466	19	53	0.0407	0.9592	0.0415	
8	427	21	74	0.0491	0.9508	0.0503	$\lambda(t) = a e^{bt}$ $\lambda(t) = 0.0354 e^{0.0398t}$
10	426	21 [*])	95	0.0492	0.9507	0.0504	
12	405	22	117	0.0543	0.9456	0.0558	
14	383	24	141	0.0626	0.9373	0.0646	$\lambda(t) = a e^{bt}$ $\lambda(t) = 0.0416 e^{0.0515t}$
16	359	26 [*])	167	0.0724	0.9276	0.0752	
18	333	28 [*])	195	0.0841	0.9159	0.0878	
20	305	31 [*])	226	0.1016	0.8984	0.1070	$\lambda(t) = a e^{bt}$ $\lambda(t) = 0.0558 e^{0.0863t}$
22	274	34 [*])	260	0.1241	0.8759	0.1323	
24	240	39	299	0.1625	0.8375	0.1769	
26	201	47 [*])	346	0.2338	0.7662	0.2648	
28	154	65	411	0.4221	0.5779	0.5350	

^{*}) წყობიდან გამოსული ფილების რაოდენობა ითვლება ფუნქციონირებადი 500 ფილიდან.

ამრიგად, ცხრ. 5.4.1-ის პირველი სამი მონაცემისათვის მწყობრიდან გამოსვლის ინტენსივობა შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი განტოლებით:

$$\lambda(t) = ae^{bt}, \quad \lambda(t) = 0.0306e^{0.0372t} \quad (5.4.4)$$

მონაცემები ყველა ინტერვალისა და ასაკისათვის მოყვანილია ცხრ. 5.4.1-ში.

აპრიორული და რაოდენობრივი საანგარიშო მონაცემების შედარებამ გვიჩვენა, რომ საანგარიშო სქემები ადეკვატურად წარმოგვიდგენს არხების ფუნქციონირების ხანგრძლივობას $t=20$ წლამდე (როდესაც არხების ფუნქციონირების ალბათობა და შესაბამისად, მტყუნების (წყობიდან გამოსვლის) ინტენსივობა უმნიშვნელოდ იცვლება); 20 წლის შემდეგ ბეტონის ფილებით მოპირკეთებული არხების მტყუნების (წყობიდან გამოსვლის) ინტენსივობა იზრდება და უახლოვდება დაძველებული (ანუ დაბერებული) ობიექტების რიგს.

ამ გამოსახულების მეშვეობით შეიძლება განვსაზღვროთ არხების ფუნქციონირების ასაკი (t) . თუ ჩავთვლით, რომ ადამიანის სიკვდილი და არხების წყობიდან გამოსვლა (მტყუნება, დანგრევა) – ანალოგიური მოვლენებია, შეიძლება დაახლოებით დავადგინოთ დაძველებადი არხების, რომლებიც ფუნქციონირებს (t) ასაკამდე, მწყობრიდან გამოსვლის ალბათობა (g_t) ; ფუნქციონირების ალბათობა (t) -დან $(t+1)$ ასაკამდე და სხვა მაჩვენებლები [P. Барлоу, 1985; Ц.Е. Мирцхулава, 1974].

მიღებული მტყუნების ინტენსივობის $\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}$ მონაცემების საშუალებით, თუ გვეცოდინება ალბათობის მონაცემების ფუნქციონალური დამოკიდებულება, შეიძლება დადგინდეს დანარჩენი სამი ფუნქცია:

1. არხების უმტყუნო ფუნქციონირების ალბათობა 0-დან (t) -მდე (t_a ინტერვალში):

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}; \quad (5.4.5)$$

2. არხების მტყუნების ალბათობა:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}, \quad (5.4.6)$$

სადაც $Q(t)$ – ალბათობის ფუნქციაა, რომელიც განისაზღვრება, როგორც საპირისპირო მოვლენის ალბათობა, ხოლო მისი დროის გრაფიკი – გადარჩენის მრუდია.

3. არხების მტყუნების განაწილების სიმჭიდროვე:

$$f(t) = \frac{d}{dt} P(t) = \lambda(t) e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (5.4.7)$$

შესაძლებელია გრაფიკული მეთოდის გამოყენებაც [И.Г. Венецкий, 1971].

ასეთი ანგარიში შეიძლება ჩატარდეს არხების სხვადასხვა დეფორმაციებისათვის და კერძოდ, მიწის არხებში გარეცხვისა და დაღეკვისათვის, თუ, რა თქმა უნდა, გვექნება დაკვირვებების რიგი (რამდენიმე წლის მაინც) მონაცემები.

მიგვაჩნია, რომ არხების დაძველების პროცესის ასეთი წარმოდგენა ხელს შეუწყობს იმ ღონისძიებების დამუშავებას, რომლებიც შეაფერხებს დაძველების (დაბერების) მექანიზმს და ამით გაზრდის არხების უმტყუნო ფუნქციონირების ხანგრძლიობას.

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ჩვენ არ გვაქვს პრეტენზია და იმის ილუზია, რომ არხების დაძველების პრობლემა მთლიანად გადაწყვეტილია. საბოლოო გადაწყვეტისთვის საჭიროა არხებში მიმდინარე სხვა დეფორმაციების მონაცემები წლების მანძილზე და პრობლემის განხილვა მათ ერთობლიობაში, რაც ჩვენი კვლევების შემდეგ ეტაპს წარმოადგენს.

მაგალითი 2. აჯამეთის სარწყავი სისტემის ექსპლუატაციაზე დაკვირვებებმა გვიჩვენა, რომ 10 წლის მანძილზე (1992-2002 წწ.), როდესაც არ ხდებოდა ნატანისაგან არხის გაწმენდა, მასში ხარჯი 4-ჯერ შემცირდა. მაშასადამე, არხის ნორმალური მუშაობისათვის საჭიროა მისი გაწმენდა საშუალოდ ყოველ 2,5 წელიწადში. მაშინ იმის ალბათობის დადგენა, რომ არხს არ დასჭირდება 5 წლის მანძილზე 2-ჯერ გაწმენდა, იქნება შემდეგი.

ამოცანის ამოხსნა: თუ დავუშვებთ, რომ არხის გაწმენდის რაოდენობა ექვემდებარება პუასონის განაწილებას, მაშინ $a = M(X) = 2(8)$, სადაც a – განაწილების პარამეტრია.

იმის ალბათობა, რომ არხს 5 წლის მანძილზე 2-ჯერ მაინც დასჭირდება გაწმენდა, იქნება:

$$P_x = P_{(x=k)} = \frac{a^k}{k!} e^{-a}.$$

შესაბამისი მნიშვნელობების ჩასმის შემდეგ ამ გამოსახულების მნიშვნელობა იქნება:

$$P_{(x=k)} = \frac{2^5}{5!} e^{-2} = 0,0361 \approx 0,04.$$

მაშასადამე, არხს არ დასჭირდება 2-ჯერ გაწმენდა შემდეგი ალბათობით:

$$P = 1 - 0,04 = 0,96.$$

აღსანიშნავია, რომ არხების საიმედოობის გაზრდა მიიღწევა როგორც თვით არხის, ისე მისი ცალკეული ელემენტების საიმედოობის გაზრდით.

რადგან დაუშვებელია მიმდევრობითი ერთობლივი არხის (რომელიც რეზერვის გარეშე შენდება) მწყობრიდან გამოსვლა, ამიტომ მისი ელემენტების საიმედოობა საკმაოდ მაღალი უნდა იყოს.

თავი 6. მთის წყალსაცავების წყალდამცავი ზონის და სანაპირო ზოლის ბაზარიტების დაღებვის მეთოდობა

წყალდამცავი ზონის (წ.ზ.) დანიშნულებაა: ანთროპოგენური და ბუნებრივი ზემოქმედების შედეგად დაბინძურებული წყლების გაწმენდა.

წ.ზ.-ის მეშვეობით ხორციელდება ბიოგენური ელემენტების შეკავება ბუნებრივი ფილტრების (მინდორი, ტყის ზოლები და სხვ.) მეშვეობით. ამ მდგომარეობიდან გამომდინარე, წ.ზ.-ის სიგანე განისაზღვრება დაბინძურებული ფერდობული ნაკადების მთლიანი შეკავებით და გადაყვანით გრუნტის ნაკადებში.

წყალდამცავი სანაპირო ზოლის (ს.ზ.) შიდა საზღვარია წყალსაცავის შეტბორვის დონე, ხოლო გარე საზღვარი ინიშნება ფორსირებული შეტბორვის დონის და ნაპირის 50-წლიანი გადამუშავების (შეტბორვის და ხრამების) გათვალისწინებით.

წყალდამცავი ზოლის (ს.ზ.) სიგანე ინიშნება წყალსაცავის 1%-იანი უზრუნველყოფის დატბორვის ზოლიდან.

წ.ზ.-ის გაბარიტების განსაზღვრისას საჭიროა დადგინდეს ბიოგენური დატვირთვის მოცულობისა და ბუნებრივი ფილტრების შთანთქმის შეფარდება.

ანგარიშის პირველი ეტაპია წყალსაცავის მიმდებარე ტერიტორიის დარაიონება მისი გამოყენების მიხედვით: სოფლის მეურნეობა, სელიტიბური, მეცხოველეობა, სამრეწველო, ბუნებრივი ფილტრები და სხვ.

შემდეგ განისაზღვრება ამ ტერიტორიების სიგრძე და ფართობი, ზედაპირის დახრილობა, ნიადაგების ტიპი, ოროგრაფია, ბიოგენური დატვირთვის თავისებურებანი, ეროზიული პროცესები, აბრაზია და ა.შ.

ამ მონაცემების მიხედვით პირველი მიახლოებით წ.ზ.-ის სიგანე $L_0 = 400 \div 500$ მ, თუ:

- ფერდის ტერიტორია ტყით დაფარულია 70%-მდე;
- ტყე ფოთლოვანია და ქვიშნარი ნიადაგებია;
- ფერდი ჩრდილოეთის ექსპოზიციისაა და მისი დახრილობა -5° -ია.

სხვა შემთხვევაში წ.ზ.-ის სიგანე განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$L_{1\%} = L_0 \cdot \lambda_{P\%} \cdot K_{\text{ტყ.}} \cdot K_{\text{ნიადაგ.}} \cdot K_{\text{გ.}} \cdot K_{\text{სიმქ.}} (\pm \Delta l_i), \quad (6.1)$$

სადაც $L_{1\%}$ – წ.ზ.-ის სიგანეა 1%-იანი ჩამონადენისას; $L_0 = 400 \div 500$ მ;

$\lambda_{P\%} = 2$ – ფერდობული ჩამონადენის გადასვლის კოეფიციენტი ($C_S = 2C_V$);

$K_{\text{ტყ.}}$ – ტყის სახეობის კოეფიციენტი:

ტყის სახეობა	ფოთლოვანი	შერეული	წიწვოვანი	ფერდზე თავისუფალი მცენარეებია
$K_{\text{ტყ.}}$	1,0	0,92	0,85	2,5

$K_{\text{სიმქ.}}$ – კოეფიციენტი ფერდის სიმქისის გათვალისწინებით: ფერდის გარდიგარდმო მოხვნისას $K_{\text{სიმქ.}} = 1,6$; ფერდის გასწვრივ მოხვნისას $K_{\text{სიმქ.}} = 2,4$

$K_{\text{გ.}}$ – ფერდის ექსპოზიცია:

ფერდის ექსპოზიცია	ჩრდ.-აღმ. და დასავლეთი	სამხ.-აღმ. და ჩრდ.-დას.	სამხრეთი და სამხ.-დას.
$K_{\text{გ.}}$	1,0	0,8	1,2

$K_{\text{ნიადაგ.}}$ – ფერდის ნიადაგის კოეფიციენტი:

ნიადაგი	მხატე ნიადაგი	საშუალო ნიადაგი	მძიმე ნიადაგი
$K_{\text{ნიადაგ.}}$	1,0	1,5	2,0

Δl_i – ეტალონური (5°) და ფაქტობრივი ფერდის დახრილობების შემასწორებელი:

$$\Delta l_i = 0,27L_{\text{ს.შ.}} \cdot \Delta_i; \quad (6.2)$$

$L_{\text{ს.შ.}}$ – წ.ზ.-ის სიგანე:

$$L_{\text{ს.შ.}} = L_0 \cdot \lambda_{P\%} \cdot K_{\text{ტყ.}} \cdot K_{\text{ნიადაგ.}} \cdot K_{\text{გ.}} \cdot K_{\text{სიმქ.}}, \quad (6.3)$$

Δ_i – ფაქტობრივი და ეტალონური (5°) ფერდების დახრილობის სხვაობაა.

ბიოგენური ელემენტების ჩამონადენის გამოტანის ანგარიში

ბიოგენური ელემენტებია – აზოტი, ფოსფორი, კალიუმი, კალციუმი, რკინა, გოგირდი და სხვ. ბიოგენური ელემენტების ძირითადი წყაროებია: მინერალური და ორგანული სასუქი, ნაკელი, დასახლებული პუნქტების ყოფითი ჩამონადენი (ცხრ. 6.1).

ცხრილი 6.1

სასუქებში ბიოგენური ელემენტების რაოდენობა

სასუქი	აზოტი (N)	ფოსფორი (P ₂ O ₅)	კალიუმი (K ₂ O)
ნაკელი (ახალი)	0,45	0,23	0,50
ნაკელი (3-5 თვის შემდეგ)	0,22	0,01	0,46
ტორფი	1,50	0,15	0,08
ქათმის სკინტლი	1,50	1,50	0,90
სუპერფოსფატი	–	18,0	–
ამოფოსი	12,0	44,0	–

რუკებზე (M 1:5000÷10000) წყალშემკრები აუზების, მათზე გამოყენების სახეობებისა და ბიოგენური დატვირთვის დატანის შემდეგ იანგარიშება ბიოგენური ნივთიერებების ჩამონადენი ფორმულით:

$$W = R \cdot F \quad (6.4)$$

სადაც F – დათესილი კულტურების ფართობია; R – ბიოგენური ნივთიერებების გამორეცხვის კუთრი რაოდენობა (დათესილი კულტურისათვის), კგ/ჰა:

$$R = a \cdot K_{\text{გ}} \cdot Y, \quad (6.5)$$

სადაც a – გამორეცხვის კოეფიციენტი (ცხრ. 6.2); $K_{\text{გ}}$ – მოსავლის აღებისას ბიოგენური ნივთიერებების გამოტანის კოეფიციენტი, კგ/ჰა (ცხრ. 6.3); Y – საშუალო წლიური მოსავლიანობა, ც/ჰა.

საორიენტაციოდ წ.ზ-ის სიდიდის დადგენა შესაძლებელია ცხრ. 6.4-ის გამოყენებით.

ცხრილი 6.2

წყალსაცავში ბიოგენური ნივთიერებების გამოტანის კოეფიციენტი (ა)

კულტურა	ნიადაგი, ზონა	კოეფიციენტი (ა)		
		N (აზოტი)	P ₂ O ₅ (ფოსფორი)	K ₂ O (კალიუმი)
საშემოდგომო ხორბალი	ეწერიანი	0,16	0,12	0,007
	შავმიწა	0,12	0,11	0,007
საგაზაფხულო ხორბალი	ყველა ტიპის ზონისათვის	0,16-0,48	0,04-0,12	0,12-0,41
კარტოფილი	ეწერიანი	0,21-0,30	0,17-0,10	0,32-0,33
კომბოსტო	ყველა ტიპის ზონისათვის	0,06-0,07	0,3-0,4	0,5-0,6
საკვები ბალახი	ყველა ტიპის ზონისათვის	–	0,15-0,2	0,25-0,3

ცხრილი 6.3

ბიოგენური ნივთიერებების გამოტანის კოეფიციენტი მოსავლის აღებისას (K_ბ)

კგ/ჰა

კულტურა	ნიადაგი	კოეფიციენტი (K _ბ)		
		N (აზოტი)	P ₂ O ₅ (ფოსფორი)	K ₂ O (კალიუმი)
საშემოდგომო ჭვავი	ეწერიანი	2,45	1,2	2,6
	შავმიწა	2,5-3,2	1,2	2,4-2,7
საშემოდგომო ხორბალი	ტყის	3,2	1,2	2,5
	ეწერიანი	3,4	0,9	2,0
	შავმიწა	2,9	1,0	2,7
კარტოფილი	ეწერიანი	0,5	0,15	0,7
საკვები ბალახი	ეწერიანი	1,76	0,63	1,95

წყალსაცავში ბიოგენური ნივთიერებების პროგნოზირებადი ჩამონადენის გამოტანა (ბიოგენური დატვირთვა – ნ_ბ) ნორმატიული მონაცემების (ცხრ. 6.4) საფუძველზე ხორციელდება გამოყენებული ფართობების, მოსახლეობის, საქონლის რაოდენობის გათვალისწინებით:

$$ნ_{ბ} = W_{ბ} \cdot \Pi_{ბ}, \quad (6.6)$$

სადაც ნ_ბ – ბიოგენური ჯამური დატვირთვაა, კგ/წელიწადში; W_ბ – ნორმატიული მაჩვენებელი დატვირთვის ერთეულზე (ცხრ. 6.2); Π_ბ – რაოდენობრივი მაჩვენებელი (ტერიტორიის ფართობი, მოსახლეობის და საქონლის რაოდენობა და სხვ.).

ცხრილი 6.4

ბიოგენური ელემენტების გამონატანის ნორმა

გამონატანის წყარო	გამონატანი, W_g (კგ/წელიწადში)	
	აზოტი	ფოსფორი
მოსახლეობა (ერთი ადამიანის, ცხოველის და ა.შ. ფართობის ერთეულიდან)	0,355	0,777
სახნავი მიწები	3,0	1,0
სარწყავი მიწები	15,0	0,5
საქონელი	0,26	3,64
ფრინველი	0,092	0,0092
ღორი (ერთი ერთეულის 100 კგ მასაზე)	–	45,0
ცხვარი (იგივე)	–	20

წყალსაცავის სარეკრეაციო მიზნით გამოყენებისას ანგარიშში საჭიროა მოსახლეობის რაოდენობის გაზრდა წლის შესაბამის სეზონში.

ბიოგენური ნარჩენი დატვირთვის (n_g) განსაზღვრა

ბიოგენური ნარჩენი დატვირთვა (n_g) – ეს არის ბიოგენური ნივთიერებების რაოდენობა, რომელიც ჩაედინება წყალსაცავში:

$$n_g = n_d - n_{\text{ფ}}, \quad (6.7)$$

სადაც $n_{\text{ფ}}$ – ბუნებრივი ფილტრებით შთანთქმული ბიოგენური ელემენტების რაოდენობაა (ცხრ. 6.5).

ცხრილი 6.5

ბუნებრივი ფილტრებით ბიოგენური ელემენტების შთანთქმის ნორმა

ფილტრის ტიპი	შთანთქმის ნორმა, ტ/ჰა წელიწადში (ფოსფორის)
ტყე	0,031
სათიბი	0,004
ჭაობი	0,18
ტყის ზოლი	0,017

ბიოგენური დატვირთვის ნარჩენი მოცულობა განისაზღვრება მთლიანი ფოსფორის დატვირთვით (ტ/ჰა წელიწადში):

$$\sum n_g = \frac{|P| \cdot W}{1 - R}, \quad (6.8)$$

სადაც $|P|$ არის ფოსფორის კონცენტრაცია (მლ/ლ); W – მდინარის წლიური ჩამონადენი (მ³); R – წყალსაცავში ფოსფორის შეკავების კოეფიციენტი:

$$R = \frac{24}{30 + gS}, \quad (6.9)$$

სადაც gS არის დატვირთვა წყლით (მ³/მ²), ან $gS = \frac{W}{S}$ (W –

წყალსაცავის მოცულობა, S – წყლის ზედაპირის ფართობი).

ამ მაჩვენებლების გამოყენებით შესაძლებელია წყალსაცავის წყლის ხარისხის პროგნოზირება. შემდგომ განისაზღვრება წყალ-დამცავი ღონისძიებების „სიმძლავრე“ (ბალებში) (ცხრ. 6.6).

ცხრილი 6.6

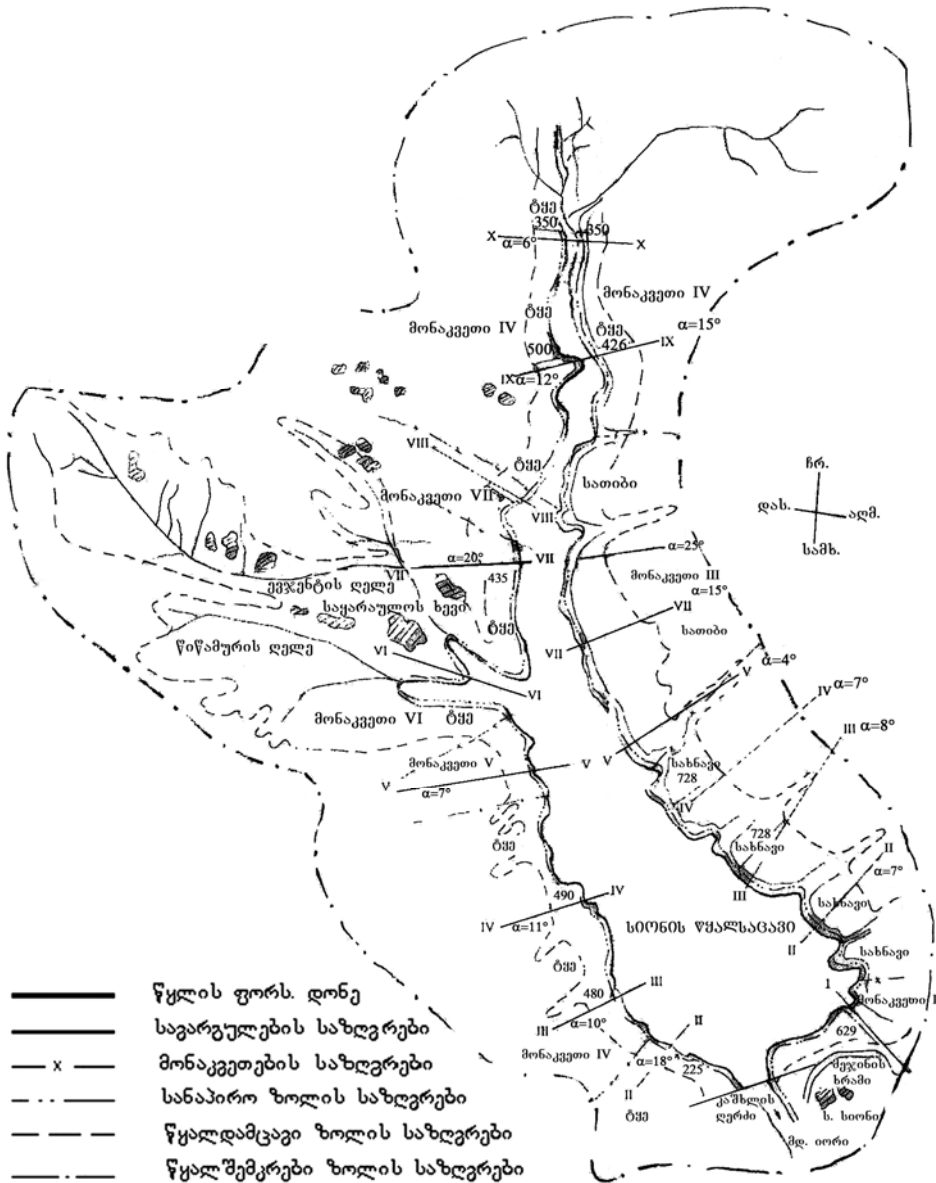
წყალდამცავი ღონისძიებების „სიმძლავრე“ (ბალებში)

ბიოგენური ელემენტების წყაროები	ნარჩენი დატვირთვა		ფერდის დახრილობა გრადუსი	ბალი
	ბიოგენური ტ/წელიწადი	ფოსფორი ტ/წელიწადი		
სელიტბურ ტერიტორიები	< 6	< 2	< 5	2
			> 5	3-4
			> 10	5-6
სელიტბურ ტერიტორიები	> 6	> 2	< 5	3
			> 5	4-5
			> 10	7
სახნავი მიწები	< 60	< 15	< 5	3
			> 5	4
			> 10	6-7
სარწყავი მიწები	> 60	> 15	< 5	4
			> 5	7
			> 10	8
	< 15	< 0,5	< 5	1
			> 5	1
			> 10	3-4
	> 15	< 30	< 5	2
			> 5	3
			> 10	4-6
ფერმები	< 30	< 30	< 5	4
			> 5	6
			> 10	8
	> 30	> 30	< 5	5
			> 5	7-8
			> 10	9-10

ცხრ. 6.6-ის მიხედვით რეკომენდებულია წყალდამცავი ღონისძიებების ჩატარება:

- ხუთ ბალამდე - საჭიროა ზედაპირული ჩამონადენის შემცირების ღონისძიებები, ხოლო ხუთზე მეტისას კი - ტექნიკური ღონისძიებები.

დამუშავებული რეკომენდაციების გამოყენებით გაანგარიშებულია სიონის წყალსაცავის წყალდამცავი ზონები (წ.ზ.) (ნახ. 6.1).



ნახ. 6.1. სიონის წყალსაცავის წყალდამცავი ზონის საზღვრები

დასკვნები

წინამდებარე მონოგრაფიაში განხილულია მთის წყალსაცავების გარემოზე ზემოქმედებისა და მათი შექმნით წარმოქმნილი საკითხები.

საქართველოს მეურნეობის მზარდი მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად აუცილებელია მდინარეების ჩამონადენის განაწილება მთის წყალსაცავების შექმნით, რაც განპირობებულია საქართველოს მთიანი ტერიტორიით (75%). საქართველოს მთის წყალსაცავები უზრუნველყოფს მიწის მასივების მორწყვას, წყალმომარაგებას, კურორტების მიმდებარე ტერიტორიებზე დასვენებისა და სპორტული ზონების ორგანიზაციას, მდინარეების ჰიდროენერგო რესურსების გამოყენებას, წყალდიდობების თავიდან აცილებას და სხვ.

მთის წყალსაცავების შექმნა – ადამიანთა შემოქმედების ის სფეროა, რომელიც იწვევს გარემოს სწრაფ და მრავალფეროვან გარდაქმნებს. ამავე დროს, როგორც ცალკეული წყალსაცავები, ისე მათი კასკადები, განუწყვეტილად იცვლება დროში. ეს ცვლილებები გამოწვეულია, როგორც ბუნებრივი პროცესების ზემოქმედებით, ისე ანთროპოგენური ფაქტორებით (მდინარეზე ახალი წყალსაცავებისა და ჰიდროკვანძების მშენებლობა, წყლის რესურსების აუზთაშორისი გადანაწილება და ექსპლუატაციის რეჟიმის ცვლილებები მეურნეობის დარგების მოთხოვნილებების შესაბამისად, წყალსაცავების ზონაში საინჟინრო ნაგებობების მშენებლობა და ა.შ.). ამიტომ, წყალსაცავების დაპროექტებისა და ექსპლუატაციის დროს ყოველივე და ყველაფერი უნდა დაექვემდებაროს წყალსაცავების კომპლექსური გამოყენების ოპტიმალურ პირობებს წყალთა მეურნეობის განვითარების ყოველ პროგნოზირებად ეტაპზე.

წყალსაცავების კომპლექსური გამოყენების ეფექტურობა ბევრ ფაქტორზეა დამოკიდებული: წყალსაცავის ტერიტორიის ბუნებრივ და სამეურნეო პირობებზე, მის პარამეტრებზე, ექსპლუატაციის რეჟიმზე და სხვ.

მთის წყალსაცავების შექმნისა და მათი ექსპლუატაციის პროცესში შესწავლილი და გაანალიზებული უნდა იყოს საპროექტო გადაწყვეტილების მოსალოდნელი ნებისმიერი შედეგი (პარამეტრების არჩევა, ექსპლუატაციის რეჟიმი, მეჩხის გამოყენება და ა.შ.). წყალსაცავი უნდა განიხილებოდეს ერთდროულად: ა) როგორც უნიკალური პროდუქციის – წყლის საწყობი; ბ) როგორც ობიექტი, რომელიც არსებითად ცვლის წყლის საწყის თვისებებს; დ) როგორც ენერჯის წყარო

და წყლის აკუმულატორი ჰიდროელექტროსადგურებისათვის; ე) როგორც აკვატორია, რომელიც გამოიყენება რეკრეაციული, სათევზე მეურნეობის, წყლის ტრანსპორტისათვის; ვ) როგორც ტერიტორიის დამკარგველი (დატბორვა, შეტბორვა, ნაპირების გადამუშავება); ზ) როგორც ობიექტი, რომელსაც შეაქვს არსებითი ცვლილებები ბუნებაში და მდინარეების ხეობებში, ტბებში და შესართავის უბნებში.

მთის წყალსაცავების მეცნიერული გამოკვლევები არც თუ დიდი ხნის წინ დაიწყო და მათი გამოკვლევების ძირითადი მიმართულებებია:

- კვლევები, რომლებიც მიმართული იქნება წყლის ხარისხის შენარჩუნებაზე და წყალსაცავების ბიოლოგიური პროდუქტიულობის ზრდაზე;
- წყალსაცავების გარემოზე ზემოქმედების კანონზომიერებების კვლევები;
- არსებული წყალსაცავების კომპლექსური გამოყენების საკითხების კვლევები მეურნეობის მაქსიმალური ეფექტურობის მიღწევის მიზნით.

მეცნიერული კვლევები უნდა მოიცავდეს თეორიულ განზოგადებებს, წყალსაცავების შექმნისა და გამოყენების მსოფლიო გამოცდილების შესწავლას, პროცესებისა და მოვლენების დინამიკის გამოკვლევას, ამ მოვლენების პროგნოზირების მეთოდების შემუშავებას.

წყალსაცავების კომპლექსური გამოყენების ეფექტურობის გაზრდის მიზნით აუცილებელია ორი პირობა: 1) მრავალწლიანი კომპლექსური მეცნიერული გამოკვლევების ექსპედიციის ორგანიზება რამდენიმე წყალსაცავზე, რომლებიც განლაგებული იქნება სხვადასხვა ბუნებრივ ზონებში და აღჭურვილი იქნება თანამედროვე ტექნიკით; 2) ამ წყალსაცავებზე სხვადასხვა ექსპერიმენტების ჩატარება საწარმოო მასშტაბებში, თეორიული წინადადებებისა და რეკომენდაციების შესამოწმებლად.

განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს წყლისა და მიწისზედა ეკოსისტემების განვითარებას, შენარჩუნებას და წყალსაცავის წყლის რესურსების დაცვას დაბინძურებისაგან, წყალსაცავის თვითგამწმენდი უნარის ინტენსიფიკაციის კომპლექსური ღონისძიებების განხორციელებას, სავარგული მიწების დატბორვის მაქსიმალურად შესაძლო შემცირებას, წყალსაცავებისა და მდინარეთა სისტემების კონტროლისა და მართვის მეთოდების შემუშავებას.

პრობლემები, რომლებიც უკავშირდება მთის წყალსაცავების გარემოზე ზემოქმედებას, მათ შექმნასა და კომპლექსურ გამოყენებას – საერთოა მსოფლიოს ყველა ქვეყნისათვის, ამიტომ ქართველ მკვლევართა გამოცდილება უჭკველად საინტერესო იქნება მსოფლიოს ბევრი მკვლევარისათვის.

ლიტერატურა

1. **Барлою Р., Прошан Д.** *Статистическая теория надежности.* М., Наука, 1985.
2. **Blocley, D.** *Engineering Safety.* McGraw-NINA Book Company, 1992, pp. 475.
3. **Будыко М.И.** *Климат в прошлом и будущем.* Л., Гидрометеиздат, 1980.
4. **Герасимов И.П., Марков К.К.** *Ледниковый период на территории СССР.* М.-Л., 1993.
5. **Громов В.И.** *Палеонтологическое и археологическое обоснование стратиграфии континентальных отложений четвертного периода на территории СССР.* М., 1948.
6. **Валентей Д.И., Кваша А.Ю.** *Основы демографии.* М., Мысль, 1989.
7. **Варазашвили Н.Г., Гобечия Г.Н.** *Инженерно-экологические проблемы создания и эксплуатации водохозяйственных систем с водохранилищами в горных регионах.* Тбилиси, Мецниереба, 2002, 512 с.
8. **Варазашвили Н.Г., Гобечия Г.Н.** *Особенности формирования водного хозяйства горных регионов.* Тбилиси, Мецниереба, 1996, 234 с.
9. **Венецкий И.Г.** *Математические методы в демографии.* М., Статистика, 1971.
10. **Воропаев Г.В., Авакян А.Б.** *Водоохранилища и их воздействие на окружающую среду.* М., Наука, 1986, 367 с.
11. *Единые критерии качества воды.* М., 1982, 69 с.
12. **Золотарев Г.С.** *Инженерно-экологическое изучение береговых склонов водохранилищ и оценка их переработка.* Тр. лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР, 1956, т. 12, с. 84-96.
13. **Iordanishvili I.K.** *Development of Wave Processes on "Bottom" Water of Mountain Reservoirs.* //Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, Tbilisi, 2000, No. 2(162), pp. 309-311.
14. **Иорданишвили И.К.** *Динамика внутриводоемных процессов горных водохранилищ Грузии.* Тбилиси, Мецниереба, 2004, 194 с. (монография)
15. **Iordanishvili I.K., Varazashvili N.G.** *Distribution of Velocities of Running Up Flow on Slopes Affected by Waves.* //XX Congress of the International Association for Hydraulic Research, Moscow, IAHR, USSR, 1983, v. VII, pp. 154-158.
16. **Иорданишвили И.К., Варазашвили Н.Г.** *Справочник "Водоохранилищ Закавказья".* Книга 1. Водоохранилища Грузинской ССР, часть 1, М., ЦБНТИ, Госконцерн Водстой, 1991, 62 с.
17. **Иорданишвили И.К., Варганов М.В., Иорданишвили К.Т., Надибаидзе В.Ш. Джугели З.Е.** *Анализ экономической эффективности орошения земель Грузии.* //The III International Scientific and Practical Conference, "Use of the Water Resources and its Integration management in Globalization Processes", Baku, 2006, pp. 201-202.

18. იორდანიშვილი ი., იორდანიშვილი კ. აღმოსავლეთ საქართველოს ბუნებრივი წყლის ძირითადი მარაგისა და წყლის რესურსების ფორმირებისა და გამოყენების თავისებურებანი. თბილისი, 2008, 144 გვ. (მონოგრაფია)
19. იორდანიშვილი ი., იორდანიშვილი კ. დასავლეთ საქართველოს ბუნებრივი წყლის ძირითადი მარაგისა და წყლის რესურსების ფორმირებისა და გამოყენების თავისებურებანი. თბილისი, 2009, 158 გვ. (მონოგრაფია)
20. **Iordanishvili I., Iordanishvili K., Iremashvili I.** *Assessments of Ecological Reliability of Mountain Reservoirs Given Increased Frequency of Floods (as exemplified by the Sioni Reservoir).* //International Symposium on "Floods and Modern Methods of Control Measures". Tbilisi, Georgia, 2009, pp. 202-209.
21. იორდანიშვილი ი., იორდანიშვილი კ., ვართანოვი მ., ჯუღელი ზ., ცანავა დ. სარწყავი მელიორაციის განვითარება საქართველოში. //ქ. „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“, თბილისი, 2006, №1-3 გვ. 134-140.
22. იორდანიშვილი ი., იორდანიშვილი კ., ჯუღელი ზ., ვართანოვი მ. კოლხეთის მიწების დაშრობის პრობლემის გადაწყვეტა (ისტორიული მიმოხილვა). //ქ. „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“, თბილისი, 2006, №4-6 გვ. 143-145.
23. **Iordanishvili I., Iordanishvili K.** *Perfection of the Methods of Hydraulic Calculation of Soil Canals.* //Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, v.174, No. 1, 2006, pp. 105-107.
24. იორდანიშვილი ი., იორდანიშვილი კ., ხოსროშვილი ე., ხუბულავა ი. გლობალური დათბობა და მისი შედეგები. //ქ. „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“, თბილისი, 2008, №1-3 გვ. 70-75.
25. **Иорданишвили И.К.** *Исследование гидродинамического режима мелководной зоны на горных водохранилищах.* //Сб. тр. V конференции "Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей", М., 1999, с. 44-46.
26. იორდანიშვილი ი., მთის წყალსაცავების ნაპირდამცავი ღონისძიებების საიმედოობის უზრუნველყოფა. //„ეროზიულ-ღვარცოფული მოვლენები და ზოგიერთი მომიჯნავე პრობლემები“, საერთაშორისო კონფერენციის შრომათა კრებული, საჰიდროეკოლოგია, თბილისი, 2001, გვ. 87-92.
27. იორდანიშვილი ი., მთის წყალსაცავების ფერდობების დამცავ საფარში ქვის დიამეტრის განსაზღვრის მეთოდი. //„წყალთა მეურნეობისა და საინჟინრო ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები“, თბილისი, 1999, გვ. 59-61.
28. იორდანიშვილი ი., მთის წყალსაცავების ფერდობების ნაპირდამცავი ღონისძიებების ეკოლოგიური საიმედოობის შეფასება. //ქ. „ენერჯია“, №4/97, თბილისი, საქართველოს ენერგეტიკის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი, 1997, გვ. 48-50.
29. **Иорданишвили И.К.** *Основные положения достоверного расчета элементов берегозащитных сооружений на водохранилищах в условиях горных регионов.* //Международная конференции по русловым проблемам, гидравлике трубопроводного транспорта, гидротехнических сооружений и вопросам

- гидроэнергетики, Тбилиси, Грузинский Технический Университет, Академия Наук Грузии, 2000, с. 49-52.
30. **Иорданишвили И.К.** Особенности развития внутриводоемных процессов на горных водохранилищах. //ж. "Водные ресурсы", т. 22, №6, М., 2000, с. 678-686.
 31. **Иорданишвили И.К.** Возможности оптимального использования системного анализа при изучении гидрологических процессов в горных водохранилищах. //ж. "Энергия", №1, Научно-исследовательский институт энергетики, Тбилиси, 2000, с. 96-99.
 32. **Иорданишвили И.К.** Особенности расчета берегозащитных сооружений на горных водохранилищах. //Труды общероссийской конференции "Оценка и управление природными рисками", т. II, М., 2003, с. 339-343.
 33. **Иорданишвили И.К.** Особенности режима мелководий горных водохранилищ Грузии. //Сборник трудов Института водного хозяйства и инженерной экологии "Экологическая устойчивость, безопасность, надежность", Тбилиси, 2003, с. 54-60.
 34. **Иорданишвили И.К.** Откосные крепления с повышенной волногасящей способностью для защиты берегов горных водохранилищ. //ж. "Энергия", 4(24), Тбилиси, 2002, с.166-169.
 35. **Иорданишвили И.К.** Оценка надежности крепления плотин и берегов горных водохранилищ. //Международный симпозиум по проблемам проектирования, строительства и эксплуатации ГТС, Тбилиси, ГТУ, 2000, с.147-149.
 36. **Иорданишвили И.К.** Параметризация волновых процессов на горных водохранилищах. //Сб. тр. V конференции "Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей", М., 1999, с. 46-47.
 37. **Иорданишвили И.К.** Системный подход к параметризации волновых процессов на горных водохранилищах. //ж. "Гидротехническое строительство", №12, М., 2001, с. 16-31.
 38. **იორდანიშვილი ი., სისტემური ანალიზის გამოყენება ჰიდროელექტროსადგურების წყალსაცავებში ტალღების ჰიდრავლიკის შესწავლისას.** //ქ. „ენერჯია“, №4/98, თბილისი, საქართველოს ენერჯეტიკის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი, 1998, გვ. 96-99.
 39. **Иорданишвили И.К., Хосрошвили Е.З., Кикнадзе Х.Л.** Об одном подходе теоретического прогнозирования волн в прибрежной зоне горных водохранилищ. //Сборник трудов института водного хозяйства Грузии, Тбилиси, 2007, с. 110-118.
 40. **Иорданишвили-Радченко И.К.*)** Авторское свидетельство №63866 (№25 12018/29-15 от 28.07.77 г.). Официальный бюллетень Государственного комитета СССР по делам изобретений и открытий. Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки, №47 за 25 декабря 1978 г., с. 83.
 41. **Иорданишвили-Радченко И.К.** Гидравлика элементов волн и берегозащитные крепления водохранилищ и моря. Международная программа ЮНЕСКО

*) 1987 წლამდე ი.კ. იორდანიშვილის შრომები იბეჭდებოდა ი.კ. რადჩენკოს გვართი.

- "Человек и биосфера". МАБ, проект №4, М., Гидрометеиздат, 1987, с. 10-12, 143-144.
42. **Иорданишвили-Радченко И.К.** *Влияние шероховатости и сквозности откоса на высоту наката.* В кн.: Тезисы юбилейной конференции молодых ученых, посвященной 50-летию основания ГрузНИИГиМ, Тбилиси, "Мецниереба", 1979, с. 42-44.
 43. **Иорданишвили-Радченко И.К., Варазашвили Н.Г., Макацария А.П.** *К вопросу выбора технико-экономических критериев оценки рентабельности водохранилищ горных зон.* В кн.: Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. 107, "Водохранилища и их воздействие на окружающую среду", Л., "Энергия", 1976, с. 135-146.
 44. **Иорданишвили-Радченко И.К., Варазашвили Н.Г., Матешвили В.И.** *Мероприятия и сооружения для защиты берегов водохранилищ в условиях горных регионов.* В кн.: Экзогенные процессы и проблемы рационального использования геологической среды. Ташкент, 1985, с. 59-64.
 45. **Иорданишвили-Радченко И.К., Варазашвили Н.Г.** *Основные положения проектирования берегозащитных сооружений на горных водохранилищах.* В кн.: Тезисы докладов к всесоюзному научно-техническому совещанию "Гидроэнергетика в X пятилетке и охрана водных и земельных ресурсов". Л., 1976, с. 52-53.
 46. **Иорданишвили-Радченко И.К., Варазашвили Н.Г.** *Основные факторы, влияющие на условия работы береговых защит на горных водохранилищах.* В кн.: Материалы конференций и совещаний по гидротехнике "Комплексное использование ГЭС и охрана окружающей среды". Л., "Энергия", 1979, с. 136-140.
 47. **Иорданишвили-Радченко И.К., Варазашвили Н.Г.** *Уточнение расчета трансформации волны на крутых склонах горных водохранилищ.* В кн.: Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. 107, "Водохранилища и их воздействие на окружающую среду". Комплексное использование ГЭС и охрана окружающей среды". Л., "Энергия", 1979, с. 127-135.
 48. **Иорданишвили-Радченко И.К.** *Исследование изменения параметров волн в прибрежной зоне при большой крутизне берегов склонов.* В кн.: Республиканская научная конференция молодых ученых и аспирантов. "Водохозяйственное строительство и мелиорация в Грузии. Тбилиси, 1981, с. 50-51.
 49. **Иорданишвили-Радченко И.К.** *Исследование искусственного повышения шероховатости поверхности откоса.* В кн.: Берега водохранилищ, Иркутск, 1980, с. 143-144.
 50. **Иорданишвили-Радченко И.К.** *К вопросу определения параметров волн в створе обрушения.* //Сб. научных трудов "Вопросы гидромелиорации в Грузии", вып. 4, ГрузНИИГиМ, Тбилиси, 1977, с. 71-75.
 51. **Иорданишвили-Радченко И.К.** *К вопросу определения параметров защитных покрытий берегов водохранилищ.* //Сб. научных трудов "Эрозионные процессы и борьба с ними", вып. 6, ГрузНИИГиМ, Тбилиси, 1978, с. 130-133.

52. **Иорданишвили-Радченко И.К.** *К вопросу уточнения зависимостей по расчету трансформации волн на откосе.* В кн.: V Республиканская научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов. Тбилиси, 1976, с. 514-515.
53. **Иорданишвили-Радченко И.К.** *Конструкция и лабораторные исследования нового откосного крепления "активного" типа.* В кн.: Тезисы докладов научно-технического совещания по динамике берегов водохранилищ, их охране и рациональному использованию. Книга 5. Берегозащитные сооружения на водохранилищах. Черкассы, 1979, с. 33-34.
54. **Иорданишвили-Радченко И.К.** *Некоторые данные по разрушению одиночных волн на непроницаемых гладких откосах.* //Сб. научных трудов "Эрозионные и селевые процессы и борьба с ними", вып. 4, ГрузНИИГиМ, Тбилиси, 1978, с. 63-72.
55. **Иорданишвили-Радченко И.К.** *Новый тип откосного крепления для защиты берегов горных водохранилищ.* /Экспресс-информация, вып. 3, М., 1982, с. 15-16.
56. **Иорданишвили-Радченко И.К.** *О некоторых аспектах расчета наката волн на крутые откосы.* В кн.: Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. 122, О., "Энергия", 1977, с. 207-212.
57. **Иорданишвили-Радченко И.К.** *Определение зоны активного воздействия волн на крутые откосы.* В кн.: Тезисы докладов научно-технического семинара "Проблемы исследований побережий водохранилищ в связи с их освоением для целей строительства и других нужд народного хозяйства", Пермь, 1977, с. 19-20.
58. **Иорданишвили-Радченко И.К.** *Оценка верхней границы береговых креплений водохранилищ с использованием теории распознавания образов.* В кн.: Инженерные методы прогноза и борьба с эрозией почв. Тбилиси, 1978, с. 98-101.
59. Тезисы докладов научно-технического семинара "Проблемы исследований побоеежий водохранилищ в связи с их освоением для целей строительства и других нужд народного хозяйства", Пермь, 1977, с. 19-20.
60. **Kato H., Tsuruya H., Doi T., Miyaraki Y.** *Experimental Study of Wind Waves Generated on Water Currents.* /Report of the port and harbour research institute, vol. 15, No 4, Dec, 1976.
61. **Качугин Е.Г.** *Геологическое изучение динамики берегов водохранилищ.* М., "Наука", 1975.
62. **Киладзе Р.М.** *Гидравлика потока при прямом и обратном движении волны на откосе.* //Сообщения Академии Наук Грузинской ССР, т. XXXIX, Тбилиси, 1965, с. 129-135.
63. **Кобак К.И., Кондрашева Н.Ю.** *Изменение локализации природных зон при глобальном потеплении.* //ж. "Экология", №3, М., 1992, с. 9-18.
64. **Lansen R.B.** *Dams and Public Safety.* /U.S. Department of the Inferior Water and Power Researches Servise. 1980, 332 p.
65. **Марков К.К., Лазуков Г.И., Николаев В.А.** *Четвертичный период. Ледниковый период. Антропогенный период.* т. 1-3, М., 1965-1968.

66. **Метревели Г.С.** *Водохранилища Закавказья*. 1985, 131 с.
67. **მორცხულავა ც.** *გლობალური დათბობა – პლუსები და მინუსები* //გაზ. „საქართველოს რესპუბლიკა“, 27.11.2007.
68. **Мирицхулава Ц.Е.** *Надежность и старение гидротехнических сооружений: меры по отдалению выхода из строя*. Тбилиси, 2007, 305 с.
69. **Мирицхулава Ц.Е.** *Опасности и риски на некоторых водных и других системах*. В 2-х томах. Тбилиси, "Мецниереба" 2003, 537 с.
70. **Мирицхулава Ц.Е.** *Оценки надежности плотин и других сооружений с учетом интенсивности старения*. //Сб. тр. Института водного хозяйства, Тбилиси, 1999, с. 80-100.
71. **Мирицхулава Ц.Е.** *Риск, как рисковать разумно (примеры и решения)*. Тбилиси, 1993, 208 с.
72. **Пышкин Б.А.** *Динамика берегов водохранилищ*. Киев, "Наукова думка", 1973, 413 с.
73. **Розовский Л.Б.** *Введение в теорию геологического подобия и натурального моделирования*. М., "Наука", 1968, 198 с.
74. **Стокер Д.** *Волны на воде*. М., "Иностранная литература", 1959, 617 с.
75. **Скрыльников В.А.** *Расчет заиления водохранилищ*. //ж. "Гидротехническое строительство", №8, М., 1988, с. 30-33ю
76. **Финаров Д.П.** *Динамика берегов и котловин водохранилищ ГЭС СССР*. Л., "Энергия", 1974, 243 с.
77. **Флинт Р.Ф.** *Ледник и палеогеография плейстоцена*. Пер. с англ., 1963.
78. *Хронология и климат четвертичного периода*. Сб. М., 1960.
79. **Чоговадзе Г.И., Мгебришвили И.М., Ломов И.Е.** *Ингульская гидроэлектростанция*. М., "Энергоатомиздат", 1987, 200 с.
80. **Широков В.М.** *Формирование берегов и ложа крупных водохранилищ Сибири*. Новосибирск, "Наука", 1974, 172 с.

შინაარსი

რედაქტორისაგან	3
თავი 1. მთის წყალსაცავები – საქართველოს ხმელეთის ახალი ობიექტები	6
1.1. წყალსაცავების საერთო ფონდის ფორმირება დედამიწაზე	6
1.2. საქართველოს გეოგრაფიული პირობების დახასიათება	20
1.2.1. შავი და კასპიის ზღვების აუზების განვითარების დინამიკა.....	20
1.2.2. საქართველოს გეოგრაფიული და გეომორფოლოგიური პირობების დახასიათება.....	31
1.3. საქართველოს მთიანი რეგიონების წყალსაცავების ფონდის ფორმირება	39
1.4. საქართველოს მთის წყალსაცავიანი სისტემების თავისებურებანი	48
1.4.1. აღმოსავლეთ საქართველოს წყალსაცავიანი სისტემების თავისებურებანი	50
1.4.2. დასავლეთ საქართველოს წყალსაცავიანი სისტემების თავისებურებანი	71
თავი 2. საქართველოს მთის წყალსაცავების ეკონომიკური და სოციალური მნიშვნელობა	88
თავი 3. საქართველოს მთის წყალსაცავების ზემოქმედება გარემოზე (ნატურული კვლევების შედეგები)	100
3.1. წყალსაცავების „გარემოს დაცვის“ თანამედროვე ცნებები	102
3.2. მთის წყალსაცავების ნაპირების ფორმირება	108
3.3. მთის წყალსაცავების ტაფობის ფორმირება	125
3.4. მთის წყალსაცავებში წყლის ხარისხის ფორმირება და თვითგაწმენდის პროცესები	130
3.4.1. წყლის ხარისხის კლასიფიკაცია	130
3.4.2. საქართველოს მთის წყალსაცავების წყლის ხარისხის ფორმირების კვლევები	140
3.5. მთის წყალსაცავებით გამოწვეული გეოლოგიური და სეისმოლოგიური პროცესები	156
3.6. შიდაწყალსატევური პროცესების ფორმირება მთის წყალსაცავებში	168

3.7. დატბორვის, შეტბორვისა და ფილტრაციის პროცესები მთის წყალსაცავებში	198
3.8. მთის წყალსაცავების ზემოქმედება კაშხლების მტყუნებაზე ..	208
თავი 4. მთის წყალსაცავებზე ნეგატიური პროცესების განვითარების პროგნოზირების მეთოდები	235
4.1. მთის წყალსაცავების ნაპირების ფორმირების პროგნოზირება	235
4.2. მთის წყალსაცავების ტაფობის ფორმირების პროგნოზირება.	255
4.3. მთის წყალსაცავების ქარ-ტალღური რეჟიმის პროგნოზირება	269
თავი 5. მთის რეგიონებში შექმნილი წყალსაცავიანი სისტემების ძირითადი ელემენტების დაძველებისა და საიმედოობის გაანგარიშება	294
5.1. ძირითადი დებულებები	294
5.2. მთის წყალსაცავების შემტბორავი ნაგებობების ეკოლოგიური საიმედოობის შეფასება	309
5.3. მთის წყალსაცავების ტაფობის ექსპლუატაციის ხანგრძლიობის ეკოლოგიური საიმედოობის შეფასება	314
5.4. არხების ექსპლუატაციის ხანგრძლიობის ეკოლოგიური საიმედოობის შეფასება	319
თავი 6. მთის წყალსაცავების წყალდამცავი ზონის და სანაპირო ზოლის გაბარიტების დადგენის მეთოდოლოგია	324
დასკვნები	331
ლიტერატურა	333