

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ნოდარი კანდელაკი

საქართველოს მთის წყალსაცავების
სედიმენტაციურ-აბრაზიული პროცესების კვლევა

სადოქტორო პროგრამა – მშენებლობა

შიფრი – 0406

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2020 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
სამშენებლო ფაკულტეტი
ჰიდროინჟინერიის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: **შორენა კუპრეიშვილი**

ტ.მ.კ., აკადემიური დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი

რეცენზენტები:

ირმა ინაშვილი

ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი

გივი გავარდაშვილი

ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი

დაცვა შედგება 2020 წლის „ „ საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის -----
----- საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე,
კორპუსი ----I-----, აუდიტორია ----- მისამართი: 0175,
თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს მდივანი **დემურ ტაბატაძე,**

ტ.მ.კ., აკადემიური დოქტორი, პროფესორი

თემის აქტუალურობა. საქართველოს მსხვილი წყალსაცავები – სიონი, ჟინვალი, ტყიბული, ხრამი, თბილისი, ლაჯანური და შაორი – აგებულია გასული საუკუნის შუა წლებში, ამიტომ ისინი ეკოლოგიური ზღვრული რისკის ზრდის სტადიაშია. ასეთი მდგომარეობა გამოწვეულია მათ ფსკერზე ნატანის უკვე მნიშვნელოვანი მოცულობის დაგროვებით და ნაპირების წარეცხვით, რის გამოც წყალსაცავი კარგავს თავის ძირითად დანიშნულებას – წყლის მოცულობის რეგულირებას.

აქედან გამომდინარე, ამ პროცესების შესწავლა, მისი გამომწვევი მიზეზების დადგენა, პროგნოსტიკული რეგრესიული დამოკიდებულებების გაანგარიშება და შერბილების მეთოდების დამუშავება მეტად აქტუალურია.

სამუშაოს მიზანი. საკვლევი თემის მიზანს წარმოადგენდა საქართველოს მთის მსხვილი წყალსაცავიანი სისტემების (შაორის, ტყიბულის, ლაჯანურის, ჟინვალის, სიონის, ხრამის და თბილისის) ელემენტების – წყალსაცავის ნაპირების წარეცხვისა და მათ ფსკერზე ნატანის დაგროვების მასშტაბებისა და დინამიკის დადგენა, ამ მონაცემების ბაზის შექმნა და ნატანის დაგროვების რეგრესიული მრავალფაქტორიანი პროგნოსტიკული განტოლებების გამოყვანა, ნაპირების წარეცხვის საზღვრების დადგენის ანალიზური მეთოდი და ახალი ნაპირსამაგრი კონსტრუქციების დამუშავება.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა საქართველოს მსხვილი წყალსაცავები – სიონი, ჟინვალი, ტყიბული, ხრამი, თბილისი, ლაჯანური და შაორი.

კვლევის მეთოდები. არსებული ლიტერატურის, საქართველოს საპროექტო და სამეცნიერო ორგანიზაციებიდან მოპოვებული 7 წყალსაცავის (სიონი, ჟინვალი, თბილისი, ხრამი, შაორი, ტყიბული და ლაჯანური) შესახებ არსებული მონაცემების შესწავლა; ამ წყალსაცავების ფსკერიდან ნატანის და ნაპირების წარეცხვის პროცესების მასშტაბებისა და დინამიკის დადგენა საველე სამუშაოების ჩატარების საფუძველზე; წყალსაცავების ფსკერის და ნაპირების პროფილების აგეგმვა და მათი დატანა საპროექტო პროფილებზე; წყალსაცავების სედიმენტაციური და აბრაზიული პროცესების მასშტაბებისა და დინამიკის დადგენა; უარყოფითი პროცესების

შერბილების ღონისძიებების შემუშავება: გამაფრთხილებელი – წყალსაცავში შემოსული ნატანის მოცულობის საერთო შემცირება მთის ნაკადის აუზში ნიადაგის ეროზიული ღონისძიებების გატარებით (მდინარის სათავეში ტყის გაშენებით, მდინარეების წყალდამცავი ზონების დანიშვნა და სხვ.) და საექსპლუატაციო – წყალსაცავის ფსკერის ჰიდრავლიკური ჩარეცხვები ფსკერული გალერეების მეშვეობით, მექანიკური გაწმენდა, კაშხლის ქიმის ამღლება წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობის გაზრდის მიზნით, წყლის ტრანზიტული ჩამოგდება გვერდითი წყალგამშვები მოწყობილობების – გამყვანი არხების, გვირბისა და ნატან-ამცილებელი მოწყობილობების მეშვეობით, ნაპირსამაგრი ნაგებობების მოწყობა და სხვ.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და სიახლე. ჩატარებული თეორიული და საველე კვლევებით:

➤ დადგენილია საქართველოს 7 წყალსაცავის (სიონი, ჟინვალი, თბილისი, ხრამი, შაორი, ტყიბული და ლაჯანური) ფსკერისა და ნაპირების სედიმენტაციურ-აბრაზიული პროცესების მასშტაბები, დინამიკა და ამ პროცესების საპროგნოზო საანგარიშო განტოლებები;

➤ დადგენილია წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვის ზედა და ქვედა საზღვრების სიდიდეები;

➤ დამუშავებულია წყალსაცავების ნაპირების წარეცხვისაგან დამცავი ახალი კონსტრუქციები – „ჰექსაბლოკი“ და „ტეტრაბლოკი“;

შედეგების გამოყენების სფერო. სადისერტაციო ნაშრომში მიღებული შედეგების გამოყენებით შესაძლებელი იქნება მრავალი სამუშაოს ჩატარება: წყალსაცავების ფსკერის მოსილვის და ნაპირების აბრაზიული პროცესების მასშტაბისა და დინამიკის დადგენა; წყალსაცავის ფსკერიდან გაანგარიშებული ნატანის მოცულობის ამოღება წყალსაცავების წყლის სასარგებლო მოცულობის მატებისთვის, რაც გაზრდის მელიორაციის და ჰიდროენერგეტიკის ეფექტიანობას და დაიცავს დასახლებულ პუნქტებს კატასტროფული დატბორვისაგან; წყალსაცავების კარიერიდან ამოღებული ნატანის გამოყენება საკომუნიკაციო ინფრასტრუქტურის, სამშენებლო ინდუსტრიის განვითარებისა და ნიადაგის განაყოფიერებისათვის; დამუშავებული ახალი

ნაპირსამაგრი კონსტრუქციებით – „ჰექსაბლოკით“ და „ტეტრაბლოკით“ – მთის წყალსაცავების ციკაბო ნაპირების დაცვა აბრაზიული პროცესებისაგან; კვლევებით მიღებული შედეგები გამოყენებული იქნება მელიორაციაში (მოსარწყავად), სასმელი წყლისთვის, ენერგეტიკაში, სარეკრეაციო მიზნებისათვის და ა.შ.

კვლევის შედეგები ხელს შეუწყობს მთის წყალსაცავების სფეროში მოღვაწე მეცნიერებს, დამპროექტებელ და წყალსაცავების საექსპლუატაციო ორგანიზაციებს სამომავლო კვლევების და უარყოფითი პროცესების შესამცირებლად პრაქტიკული ღონისძიებების განხორციელებაში.

ნაშრომის აპრობაცია. დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 16 პუბლიკაცია.

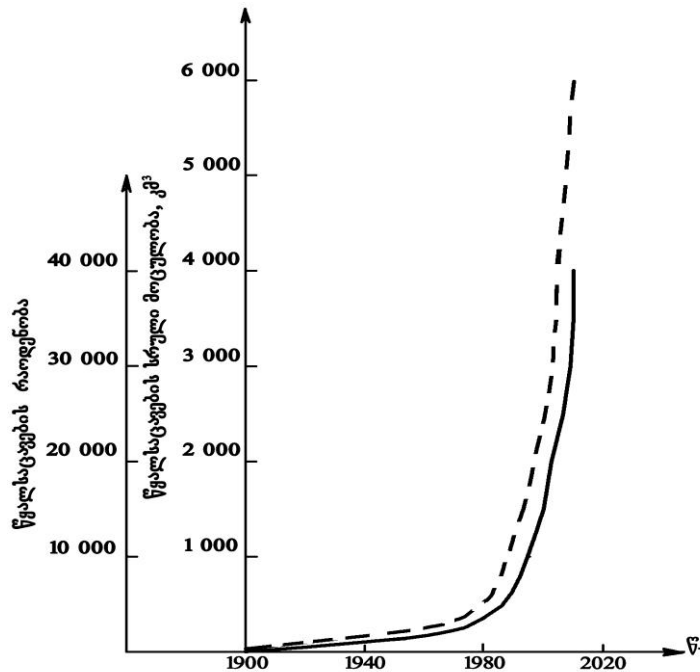
სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი დებულებები მოხსენებული იყო საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებზე. მათ შორის:

- „წყალთა მეურნეობის, გარემოს დაცვის, არქიტექტურის და მშენებლობის თანამედროვე პრობლემები“ 2012 წ., 2016 წ., 2017 წ., 2018 წ., 2019 წ.;
- საქართველოს სტუდენტთა 86-ე და 87-ე საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე – 2018 წ., 2019 წ.;
- „ბუნების კატასტროფები საქართველოში: მონიტორინგი, პრევენცია, შედეგების შერბილება“ – 2019 წ.

დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა. დისერტაცია შედგება შემდეგი ნაწილებისაგან: შესავალი, რეზიუმე, ცხრილებისა და ნახაზების ნუსხა, ლიტერატურის მიმოხილვა, შედეგების განსჯა, დასკვნა, გამოყენებული ლიტერატურა და დანართები. სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 170 ნაბეჭდ გვერდს. მათ შორის 55 ცხრილს, 73 ნახაზს, 3 რუკას, 5 ფოტოს. დანართი 1 გვერდზეა.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები თავების მიხედვით

სადისერტაციო ნაშრომის პირველ თავში – „წყალსაცავების საერთო ფონდი დედამიწაზე“ – აღწერილია და გაანალიზებულია უძველესი დროიდან შექმნილი წყალსაცავების ძირითადი მაჩვენებლები, მოყვანილია მსოფლიოს წყალსაცავების რაოდენობის და სრული მოცულობის დინამიკა (ნახ. 1).



ნახ. 1. ერთ მლნმ³-ზე მეტი ტევადობის მსოფლიოს წყალსაცავების რაოდენობის და სრული მოცულობის ზრდის დინამიკა.

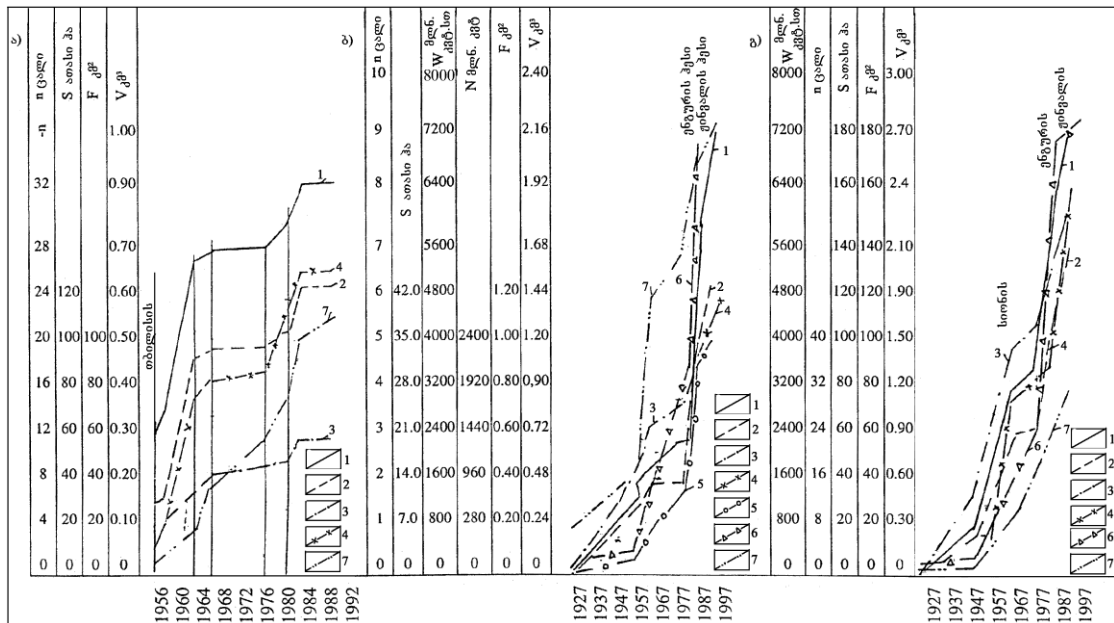
— წყალსაცავების რაოდენობა;
- - - წყალსაცავების ჯამური სრული მოცულობა.

წყალსაცავიანი სისტემების დადებითი და უარყოფითი მაჩვენებლების ანალიზი აჩვენებს მთის და მთისწინეთ რეგიონებში შექმნილი წყალსაცავიანი სისტემების უპირატესობას პრაქტიკულად ყველა კონტინენტზე.

ნაშრომის მეორე თავში „საქართველოს წყალსაცავიანი სისტემების ფონდის დახასიათება“ – აღწერილია საქართველოს წყალსაცავიანი სისტემების ფონდი (ნახ. 2).

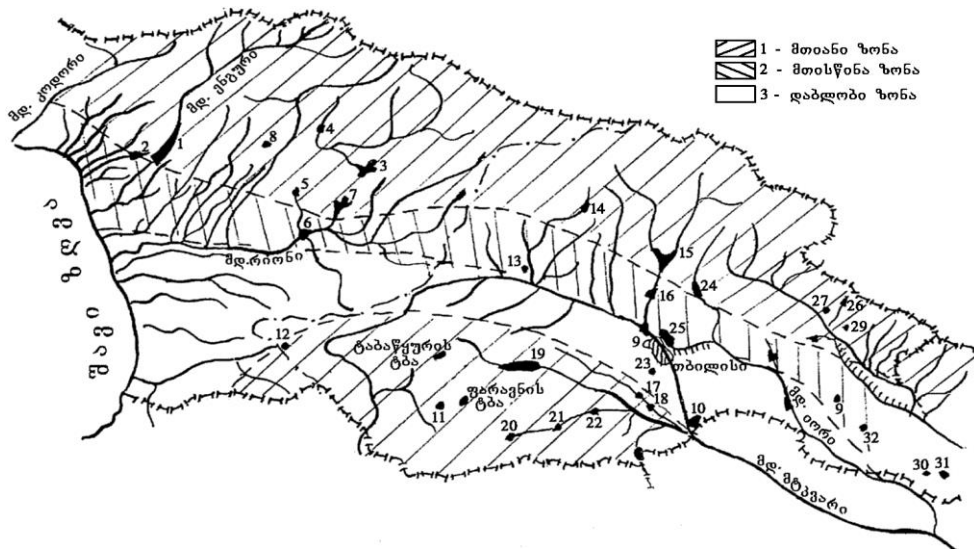
აღნიშნულია, რომ დღეისათვის საქართველოს ტერიტორიაზე მოქმედებს სულ 32 წყალსაცავი (მოცულობით 1 მლნ მ³-ზე მეტი). მათ შორის აღმოსავლეთ საქართველოში – 24 წყალსაცავი, ხოლო დასავლეთ საქართველოში – 8 წყალსაცავი. სულ დაბლობის ზონაში ($\nabla < 400,0\text{მ}$) – 7, მთისწინეთის

ზონაში ($\nabla < 400,0 \div 800\text{მ}$) – 14, მთიან ზონაში ($\nabla < 800,0 \div 1200\text{მ}$) – 5, ხოლო მაღალმთიან ზონაში ($\nabla > 1200\text{მ}$) – 6 წყალსაცავი (ნახ. 3).



ნახ. 2. საქართველოს წყალსაცავების ფონდის განვითარების დინამიკა:

ა) ირიგაციული; ბ) ენერგეტიკული; გ) საერთო ფონდი; 1 – $V_{სრ.}$, კმ³; 2 – $V_{სასარ.}$, კმ³; 3 – F, კმ³; 4 – Sათასი ჰა; 5 – Nათასი კვტ; 6 – W მლნ კვტ.სთ; 7 – n ცალი.



ნახ. 3. საქართველოს წყალსაცავების განლაგება (> 1 მლნ მ³)

ნაშრომში დამუშავებულია საქართველოს წყალსაცავების კლასიფიკაცია სიღრმის, ჰიდრომეტრიული, მორფოლოგიური, მოცულობის, წყლის ჩამონადენის დარეგულირების და სხვა მაჩვენებლების მიხედვით.

აღნიშნულია მთის და მთისწინეთის წყალსაცავების აგების უპირატესობა.

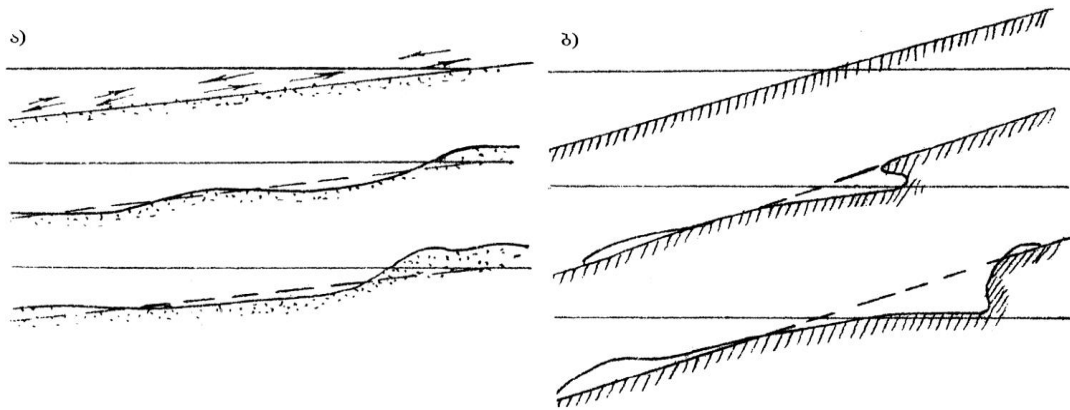
საქართველოში წყალსაცავების აგების შეწყვეტამ, რაც გამოწვეული იყო ტენდენციურად უარყოფითად განწყობილი მოსახლეობის ცალკეული ჯგუფების მიერ (გასული საუკუნის შუა წლებში) გამოიწვია საქართველოს ეკონომიკური და ეკოლოგიური გარღვევები. საბედნიეროდ, ამჟამად დაიწყო რიგი წყალსაცავების აგება – ხუდონის ($V_{სრ} = 365,0$ მლნ მ³) და ნენსკრას ($V_{სრ} = 176,0$ მლნ მ³).

ნაშრომის მესამე თავში – „წყალსაცავების ნაპირებზე აბრაზიული პროცესების დინამიკის არსებული კვლევების ანალიზი“ – განხილულია აბრაზიული პროცესების არსებული კვლევები, რომლებიც მკვლევარების მიერ დაყოფილია ოთხ ჯგუფად: პირველი ჯგუფი ნაპირების დინამიკის პროგნოზირებისათვის იყენებდა ანალოგიების მეთოდებს; მეორე ჯგუფი – გრაფონალიტიკურ მეთოდს; მესამე ჯგუფი ითვალისწინებდა ტალღური დელვის ენერგიას და ნაპირების ქანების გეოლოგიურ შედგენილობას; მეოთხე კი – ტალღური დელვის ენერგიას, ნაპირების ქანების გეოლოგიურ შედგენილობასა და ნაპირთა დახრის კუთხეს.

აღნიშნულია, რომ საქართველოს წყალსაცავებზე ასეთი ტიპის ეპიზოდური კვლევები პირველად იყო ჩატარებული ხრამისა და ლაჯანურის წყალსაცავებზე საქართველოს გეოგრაფიის ინსტიტუტის მიერ (1968 წ.), რაც შეეხება მთის წყალსაცავებს, ციცაბო ნაპირების რთული გეოლოგიურ-ლითოლოგიური შემადგენლობის, წყლის დონის დამუშავებისა და ქარების გათვალისწინებით, პირველად იყო გამოკვლეული ქართველი მკვლევარის, ტექნ. მეცნ. დოქტ. პროფ. **ნ.გ. ვარაზაშვილის** ხელმძღვანელობით, ხოლო სხვადასხვა ჰიდროტექნიკური ნაგებობების სანაპიროზე – პროფესორ **შ. გაგოშიძის** მიერ.

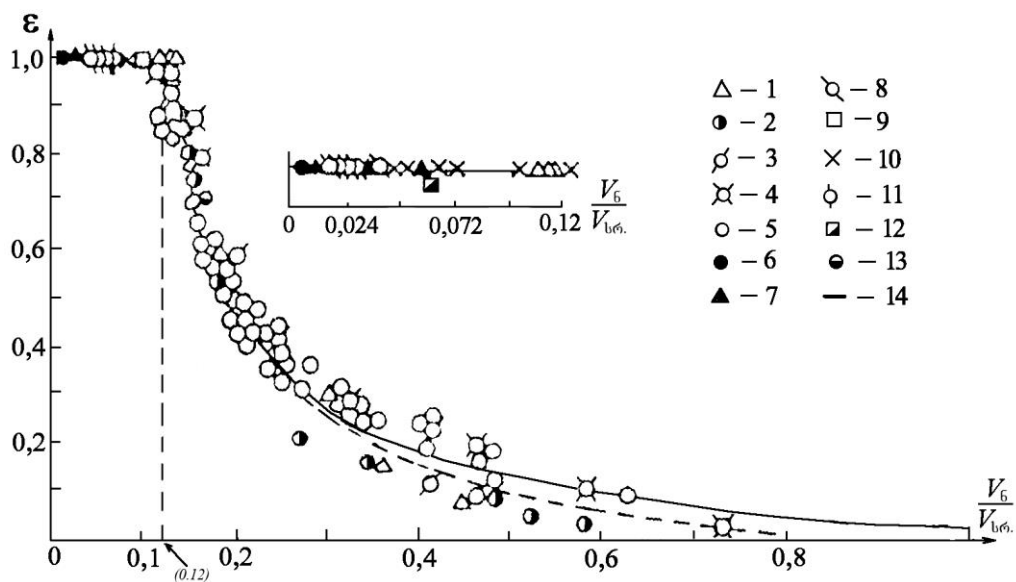
არსებული კვლევების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მთის წყალსაცავების ნაპირების გადამუშავების ძირითადი მოქმედი ფაქტორებია – ქარ-ტალღური რეჟიმი, დონის დამუშავება, სანაპირო ზონის კონფიგურაცია, ფერდობის დახრილობა და გრუნტების ტიპი. ნაპირების გადამუშავების გამოკვლევა უნდა ხორციელდებოდეს ნაპირების ყველა კონკრეტული უბნისათვის. მთის წყალსაცავების ციცაბო ფერდობებისათვის შესაძლებელი გახდა

დაგვედგინა სანაპირო ზონის გადამუშავების საერთო დამახასიათებელი სქემა (ნახ. 4).



ნახ. 4. მთის წყალსაცავების ციცაბო ნაპირების გადამუშავების ტიპური სქემები:
ა) არაბმული გრუნტები, ბ) ბმული გრუნტები

ნაშრომის მეოთხე თავში – „მთის წყალსაცავების ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების დინამიკის არსებული კვლევების ანალიზი“ – განხილულია არსებული კვლევების შედეგები, რაც ტარდებოდა, ძირითადად, საველე სამუშაოების გამოყენებით (ნახ. 5).

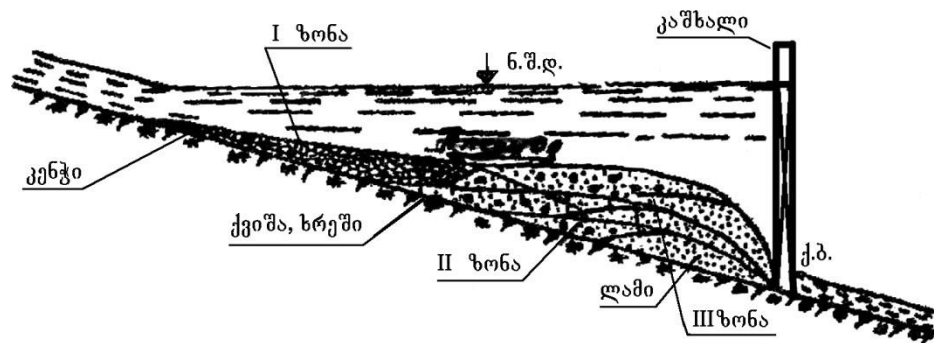


ნახ. 5. მთის წყალსაცავების დალექვის დინამიკის არსებული კვლევების ანალიზი
1 – ფარხადის ბიეფი, 1949 წ.; 2 – იგივე, 1951 წ.; 3 – იგივე, 1952 წ.; 4 – ხაშრაუს ბიეფი; 5 – ლაბორატორიული მონაცემები; 6 – ყარა-ყუმის წყალსაცავი; 7 – ტაშკერ-პრინის წყალსაცავი; 8 – თეჯენის წყალსაცავი, 1950-59 წ.წ.; 9 – ბოზ-სუის ბიეფი; 10 - ლაბორატორიული ბიეფი №1; 11 – ოსტინის წყალსაცავი (აშშ); 12 – ბოუსის წყალსაცავი; 13 – უჩკურგანის წყალსაცავი; 14 – თეორიული მრუდი.

აღსანიშნავია, რომ ნატანის რაოდენობის განსაზღვრის კვლევები ჩატარდა ქართველი მეცნიერის **გ. ხმალადის** მიერ, ხოლო საქართველოს წყალსაცავების სედიმენტაციური პროცესების კვლევები – **ლ. გველესიანის** მიერ.

არსებული კვლევების ანალიზის საფუძველზე დავადგინეთ, რომ მთის წყალსაცავის დალექვის პროცესი შეიძლება დავყოთ სამ ეტაპად: პირველი ეტაპის განმავლობაში შეინიშნება ფსკერის მონოტონურად დალექვა; 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.

მთის წყალსაცავების ფსკერის საზღვრებში ნალექის განაწილების შესაბამისად გამოიყოფა **სამი ზონა (ნახ. 6)**.



ნახ. 6. მთის წყალსაცავების ფსკერზე ნატანის აკუმულაციის სქემა
I – წყალსაცავის ზემო ნაწილში, სადაც ტბური რეჟიმი პერიოდულად იცვლება კალაპოტურით, დანალექის სისქის აგებულება მკაფიოდ შრეულია, ნატანი განსხვავებული ფრაქციულობის; II – წყალსაცავის შუა ნაწილში ერთდროულად წარმოიქმნება დალექვის ორი პრიზმა: ერთი – მსხვილი, შეტივტივებული და წვრილი ფსკერული ნატანის და მეორე – მსხვილი ფსკერული ნატანისაგან; III – კაშხლის მიმდებარე ნაწილში გროვდება ნატანის ძირითადი მასა, კაშხალთან მიახლოებისას ნალექის შემადგენლობის არაერთგვაროვნება ქვეითდება და შრეების სიმკვეთრე ირღვევა.

მთის წყალსაცავებში სედიმენტაციური პროცესის პროგნოზირების მეთოდი არ არსებობს. წინამდებარე სადისერტაციო ნაშრომში მოყვანილია საქართველოს შვიდ წყალსაცავში სედიმენტაციური პროცესების მასშტაბებისა და დინამიკის კვლევების შედეგები.

ნაშრომის მეხუთე თავში – „**ბმული და არაბმული გრუნტების**

ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მოკლე აღწერა“ – განხილულია ბმული და არაბმული გრუნტების განმასხვავებელი თვისებების თანამედროვე მონაცემები, რომელთა ცოდნა აუცილებელია წყალსაცავების ნაპირების წარცხვის პროცესების განსახილველად.

განხილულია ბმული გრუნტების ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, აღნიშნულია, რომ ბმულ გრუნტებს მიეკუთვნება გრუნტები, რომელთა პლასტიკურობის რიცხვი $W > 1$ (თიხა, თიხნარი, ქვიშნარი). ბმული გრუნტები იყოფა სამ ჯგუფად: მსხვილი – $d = 0,001 \div 0,008$ მმ; წვრილი – $d = 0,0005 \div 0,001$ მმ; თიხოვან-კოლოიდური – $d < 0,0005$ მმ.

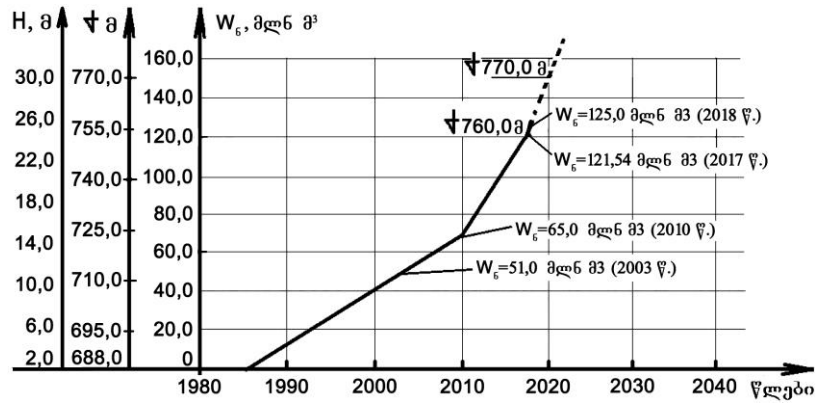
განხილულია არაბმული გრუნტების ძირითადი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები. აღნიშნულია, რომ არაბმულ გრუნტებს მიეკუთვნება მარცვლოვანი გრუნტები, რომელთაც არ გააჩნია შეჭიდულობის ძალები. არაბმული გრუნტები იყოფა ორ ჯგუფად – მსხვილად დანაწევრებული და ქვიშისებრი.

მეექვსე თავში – „საქართველოს წყალსაცავების ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების დინამიკის კვლევები“ – განხილულია ჟინვალის, სიონის, თბილისის, ხრამის, შაორის, ლაჯანურისა და ტყიბულის წყალსაცავების ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების სავლეთ კვლევების შედეგები, სადაც აღწერილია ამ წყალსაცავიანი სისტემების დანიშნულება (ენერგეტიკა, მელიორაცია, სასმელი წყლისთვის, რეკრეაცია), ფუნქციონირების სქემები, მორფოლოგია და მორფომეტრია, გეოლოგია, დონური და ქარ-ტალღური რეჟიმები.

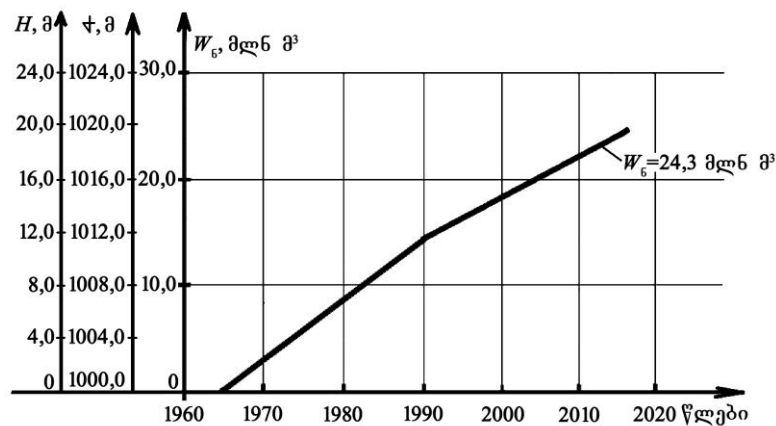
სედიმენტაციური პროცესების შესაფასებლად საჭირო გახდა საპროექტო ორგანიზაციებიდან მიღებული წყალსაცავების შესაბამისი ადგილმდებარეობის სახელმწიფო რუკების ჭრილებზე (რომლებიც აგებული იყო წყალსაცავების შევსებამდე) თანამედროვე ჭრილების დატანა. ამისათვის დაფიქსირდა გეოდეზიური წერტილები კოორდინატთა სისტემაში, ხოლო ბათომეტრიული რუკების გამოყენებით დაინიშნა საკვლევო ჭრილები.

ამორჩეულ კვეთებზე ჩატარებული ბათომეტრიული აზომვების საფუძველზე აგებულია წყალსაცავების ამჟამინდელი პროფილები,

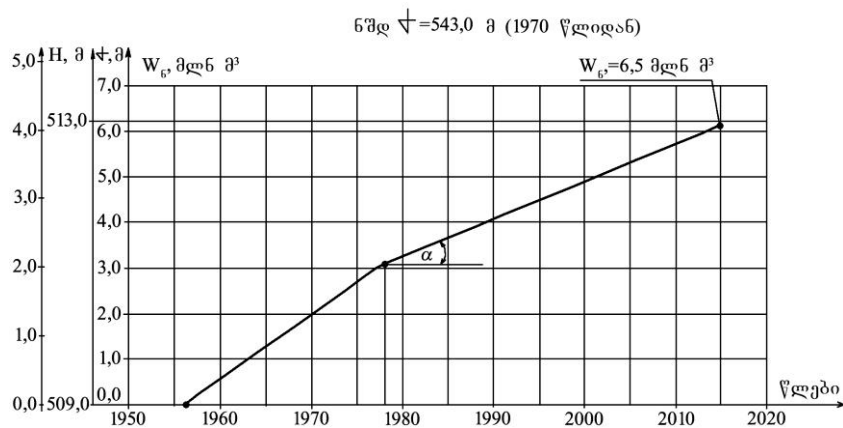
რომელთა შორისაც განთავსებული ნატანის მოცულობების მნიშვნელობების ჯამი იანგარიშება წყალსაცავის ფსკერზე დაგროვილი ნატანის ჯამური მოცულობები (ნახ. 7÷14).



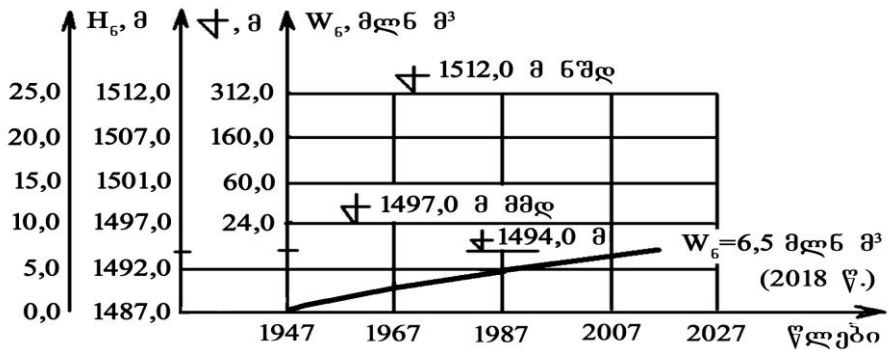
ნახ. 7. ჟინვალის წყალსაცავის ფსკერის საანგარიშო მოსილვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1985-2019 წ.წ.); (H – ნატანის სისქე კაშხალთან, მ).



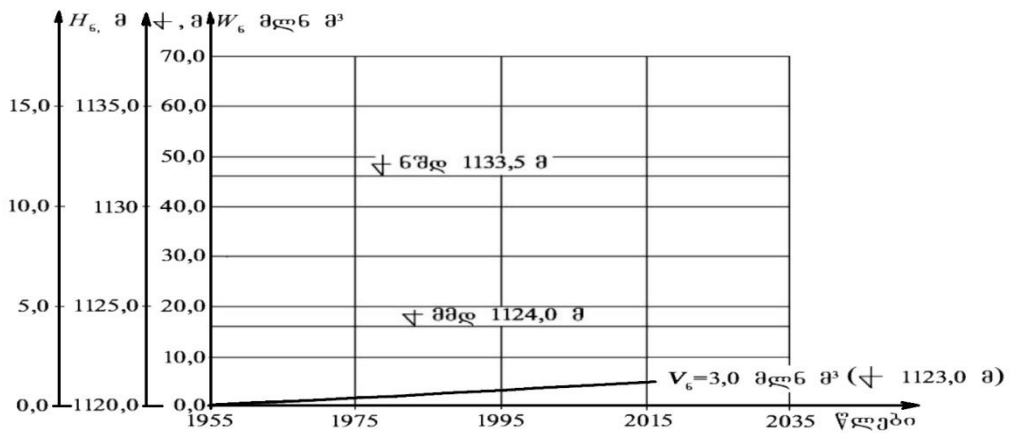
ნახ. 8. სიონის წყალსაცავის ფსკერის საანგარიშო მოსილვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1963–2019წ.წ.) (H – ნატანის სისქე კაშხალთან, მ).



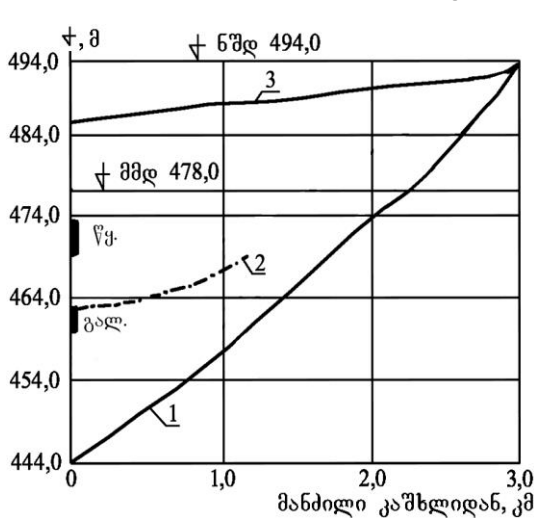
ნახ. 9. თბილისის წყალსაცავის ფსკერის დალამვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (H- დალამვის სისქე ილღუნიანის ტბის ფსკერზე).



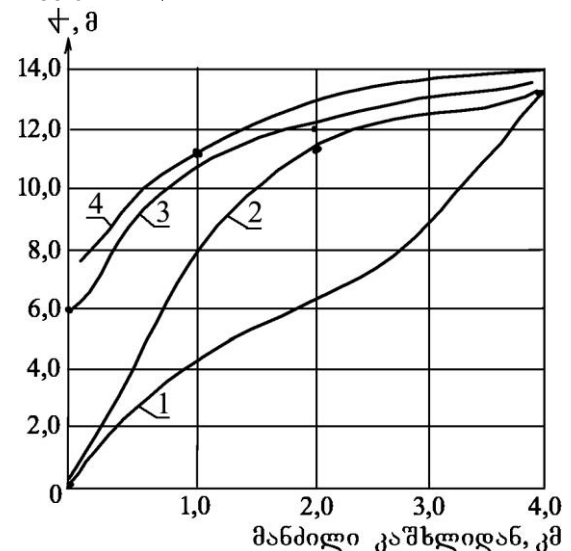
ნახ. 10. ხრამის წყალსაცავის ფსკერის საანგარიშო მოსილვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1947–2018 წ.წ.)
(H – ნატანის სისქე კაშხალთან)



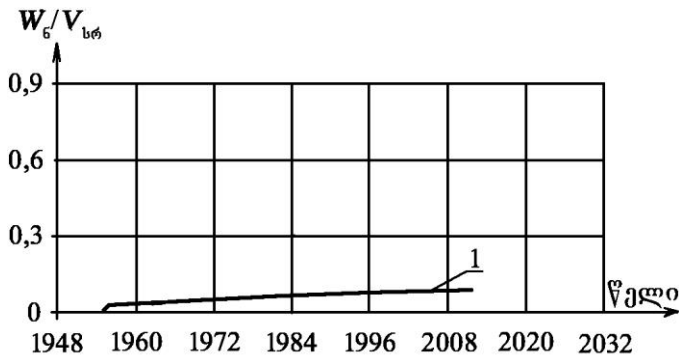
ნახ. 11. შაორის წყალსაცავის ფსკერის საანგარიშო მოსილვის დინამიკა ექსპლუატაციის დაწყებიდან (1955–2019 წ.წ.)
(H6 – ნატანის სისქე კაშხალთან)



ნახ. 12. ლაჯანურის წყალსაცავის ფსკერზე საანგარიშო მოსილვის პროცესების დინამიკა 1963 წლიდან. 1 – მდინარე ლაჯანურის კალაპოტის საპროექტო ნიშნულები; 2 – 1963 წ.; 3 – 2019 წ.

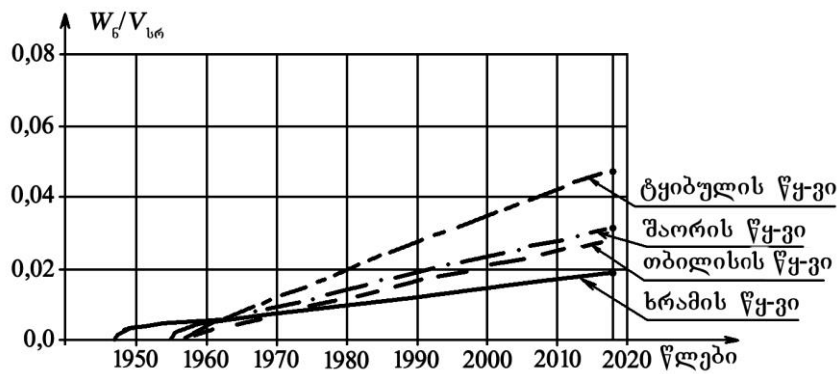


ნახ. 13. ტეიბულის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების დინამიკა (1960–2018 წ.წ.)
1 – მდინარე ტეიბულის კალაპოტის საპროექტო ნიშნულები, 2 – 1960 წ., 3 – 1966 წ., 4 – 2019 წ.

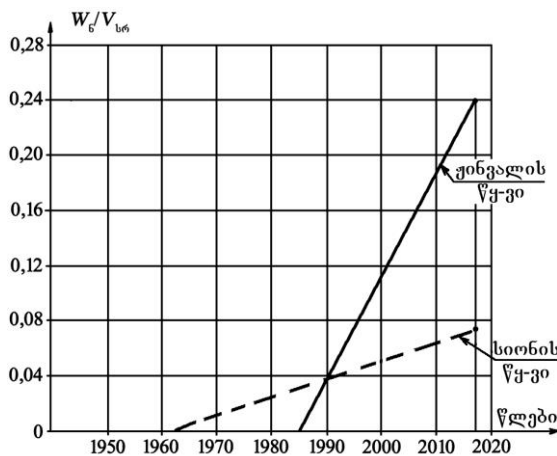


ნახ. 14. ტყიბულის წყალსაცავის ფსკერზე საანგარიშო სედიმენტაციური პროცესების ინტენსივობა

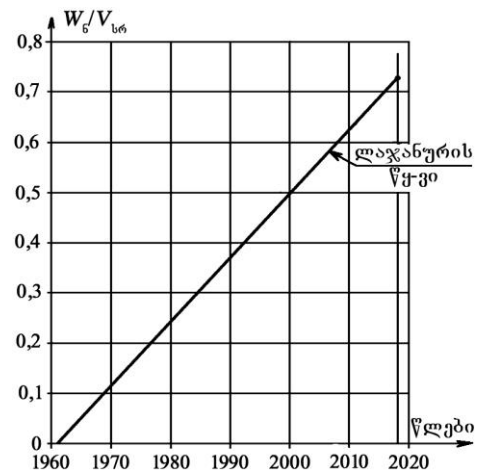
წყალსაცავების ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების შედეგების განაღიზებისას გამოყოფილია სამი ტიპის წყალსაცავები: მცირედ დალექვადი – ტყიბულის, შაორის, ხრამისა და თბილისის; საშუალოდ დალექვადი – სიონისა და ჟინვალის; ინტენსიურად დალექვადი – ლაჯანურის (ნახ. 15, 16, 17).



ნახ. 15. საქართველოს პირველი ტიპის წყალსაცავების (ტყიბულის, შაორის, თბილისის, ხრამის) ფსკერის დალექვის შედარებითი გრაფიკები (2019 წლისათვის)



ნახ. 16. საქართველოს მეორე ტიპის წყალსაცავების (ჟინვალის, სიონის) ფსკერის დალექვის შედარებითი გრაფიკები (2019 წლისათვის)

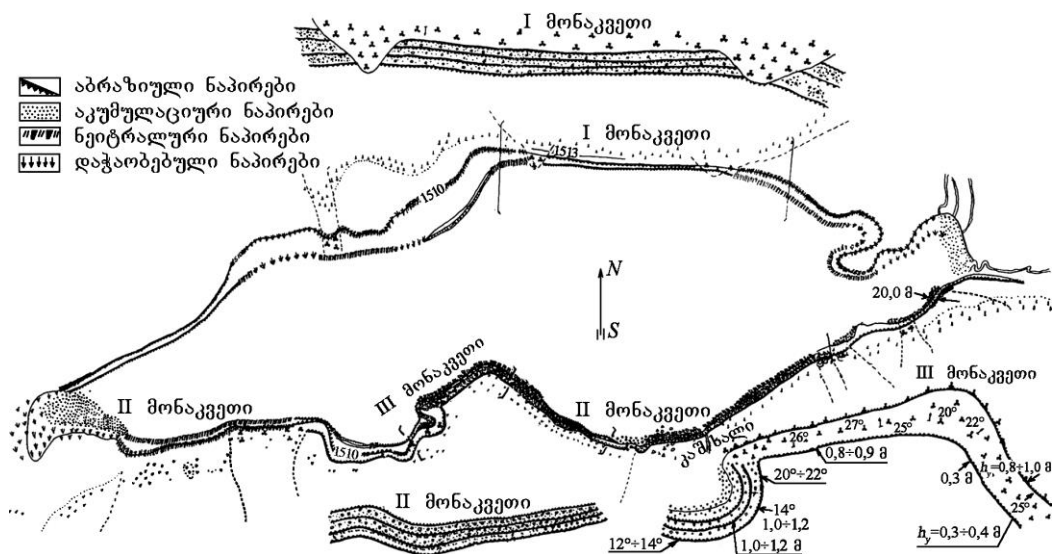


ნახ. 17. საქართველოს მესამე ტიპის წყალსაცავის – ლაჯანურის ფსკერის დალექვის გრაფიკი (2019 წლისათვის)

კვლევების შემდგომ ეტაპზე დამუშავდა წყალსაცავების ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების დინამიკის პროგნოსტიკული განტოლებები (N1÷N7) საანგარიშო წლისათვის (იხ. ცხრ. 1, გრაფა 19).

მეშვიდე თავში – „საქართველოს წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების კვლევები“ – საველე სამუშაოებით გაანალიზებულია ჟინვალის, სიონის, თბილისის, ხრამის, ტყიბულის, შაორისა და ლაჯანურის წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვის სქემები, მასშტაბები, დინამიკა და ძირითადი მოქმედი ფაქტორები. თითოეული წყალსაცავის ნაპირების გამოკვლევისას შედგენილია ნაპირების განვითარების სქემები და გამოყოფილია ნაპირების გენეტიკური ტიპები. ხრამის წყალსაცავის მაგალითი მოყვანილია 18-ე ნახაზზე და ცხრილებში 2, 3.

ანალოგიური საველე კვლევები ჩატარებულია ყველა ზემოთ აღნიშნულ წყალსაცავზე.



ნახ. 18. ხრამის წყალსაცავის ნაპირების განვითარების სქემა

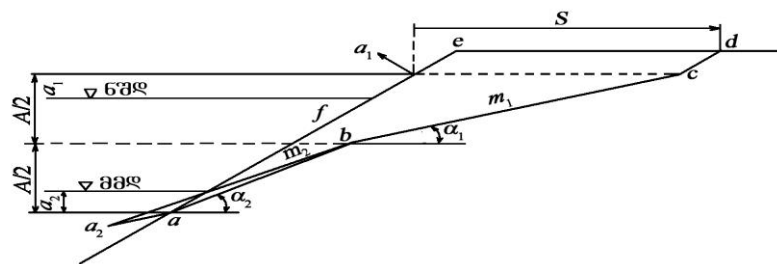
მერვე თავში – „მთის წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვის საზღვრების ანგარიშის ანალიზური და ოპტიმიზირებული მეთოდები“ – განხილულია წყალსაცავის ფერდის ერთგვაროვანი გრუნტებისაგან აგებული ნაპირის. წარეცხვის სქემა, წარეცხვის ზედა (a_1) და ქვედა (a_2) საზღვრების, წარეცხვის სიგანის (S) პროგნოზირების ანალიზური და ოპტიმიზირებული მეთოდები (ნახ. 19).

საქართველოს წყალსაცავების ფსკერის დაღეჭვის ძირითადი მაჩვენებლები (2019 წლისათვის)

| № | წყალსაცავის დასახელება | ექსპლუატაციაში შესვლის წელი | წყალსაცავის სრული მოცულობა (V _{სრ}), მლნ მ ³ | წყალსაცავის მკვდარი მოცულობა (V _{გვდ}), მლნ მ ³ | წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობა (V _{სარ}), მლნ მ ³ | V _{სრ} /F, კმ | კაშხლის სიმაღლე, მ | კაშხლის ტიპი | წყალსაცავის წმდ ნიშნული, მ | წყალსაცავის სიგრძე (L) და სიგანე (B), კმ | წყალსაცავის მაქსიმალური სიღრმე, H, მ | წყალსაცავის სარკის ფართობი წმდ-ზე, კმ ² | ნატანის დაფროვება საშუალოდ წელიწადში, W _წ /t, მლნ მ ³ /წელიწადში | ნატანის დანალექების მოცულობა 2019 წლისათვის . W _წ , მლნ მ ³ | W _წ / V _{სრ} | დანალექის სიმაღლე კაშხალთან, მ | წყალსაცავის ტიპი დაღეჭვის მიხედვით | დანალექების დაფროვების მოცულობა პროგნოსტიკული განტოლებებით, საანგარიშო (t) წლისათვის, მლნ მ ³ | დაღეჭვის სტადია |
|---|------------------------|-----------------------------|---|--|---|------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|--|--------------------------------------|--|--|---|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 1 | ხრამის | 1947 | 312,0 | 20,0 | 292,0 | 9,17 | 32,0 | ქვაყრილის | 1512,0 | 14,0/3,5 | 25,0 | 34,0 | 0,092 | 6,5 | 0,021 | 7,0 | I | N1 0,092(t-1947) | პირველი, W _წ /V _{სრ} <0,12 |
| 2 | თბილისის | 1956 | 215,0 | 60,0 | 155,0 | 26,10 | 9,0 15,0 10,0 12,0 | 2 - ბეტონის 2 - მიწის | 548,0 | 9,0/2,0 | 45,0 | 11,8 | 0,18 | 8,0 | 0,03 | 4,3 | I | N2 3,23+0,18(t-1970) | პირველი, W _წ /V _{სრ} <0,12 |
| 3 | შაორის | 1955 | 90,0 | 3,0 | 87,0 | 5,17 | 14,0 | ქვაყრილის | 1132,0 | 7,5/3,0 | 12,3 | 13,2 | 0,05 | 3,0 | 0,033 | 2,5 | I | N3 0,05(t-1955) | პირველი, W _წ /V _{სრ} <0,12 |
| 4 | ჟინვალის | 1985 | 520,0 | 150,0 | 370,0 | 45,20 | 102,0 | ქვა-მიწის | 810,0 | 12,0/1,0 | 98,0 | 11,52 | 8,1 | 125,0 | 0,21 | 23,0 | II | N4 65+8,1(t-2010) | მეორე, W _წ /V _{სრ} >0,12 |
| 5 | სიონის | 1963 | 325,0 | 25,0 | 300,0 | 28,50 | 86,0 | მიწის | 1068,0 | 11,5/2,0 | 68,0 | 11,4 | 0,45 | 25,0 | 0,08 | 20,0 | II | N5 0,45(t-1963) | მეორე, W _წ /V _{სრ} >0,12 |
| 6 | ლაჯანურის | 1961 | 24,6 | 7,0 | 17,6 | 17,1 | 70,0 | ბეტონის | 494,0 | 3,2/0,45 | 67,8 | 1,4 | 0,32 | 18,0 | 0,73 | 45,0 | III | N6 0,32(t-1961) | მესამე, W _წ /V _{სრ} >0,12 |
| 7 | ტყიბულის | 1956 | 84,0 | 22,0 | 61,0 | 7,3 | 36,0 | მიწის | 522,5 | 6,0/3,7 | 32,0 | 11,5 | 0,063 | 3,91 | 0,047 | 14,0 | I | N7 0,063(t-1956) | პირველი, W _წ /V _{სრ} <0,12 |

ხრამის წყალსაცავის ნაპირების გენეტიკური ტიპების
კრებსითი მონაცემები

| ნაპირის სიგრძე, კმ | ± 1512,0 მ დონეზე | | ±1497,0 მ დონეზე | |
|------------------------------------|-------------------|-----------|------------------|-------------|
| | კმ | % | კმ | % |
| ნაპირის საერთო სიგრძე | 31,0 | 100,0 | 28,0 | 100,0 |
| I. აბრაზიული | 15,8 | 51,0 | 14,2 | 51,0 |
| II. აკუმულაციური | 1,2 | 3,8 | 3,4 | 12,0 |
| III. ნეიტრალური | 7,0 | 22,6 | 6,0 | 21,5 |
| IV. ლაგუნისებური ან დაჭაობებული | – 7,0 | – 22,6 | 1,6 2,8 | 5,5 10,0 |



ნახ. 19. ერთგვაროვანი გრუნტისგან აგებული ნაპირის წარეცხვის საბოლოო სიგანის განსაზღვრა; ae – ბუნებრივი ფერდის ზედაპირი, $abcd$ – წარეცხილი ფერდის ზედაპირი (მშდ – მაქსიმალური შეტბორვის დონე, ნშდ – ნორმალური შეტბორვის დონე, მმდ – მკვდარი მოცულობის დონე).

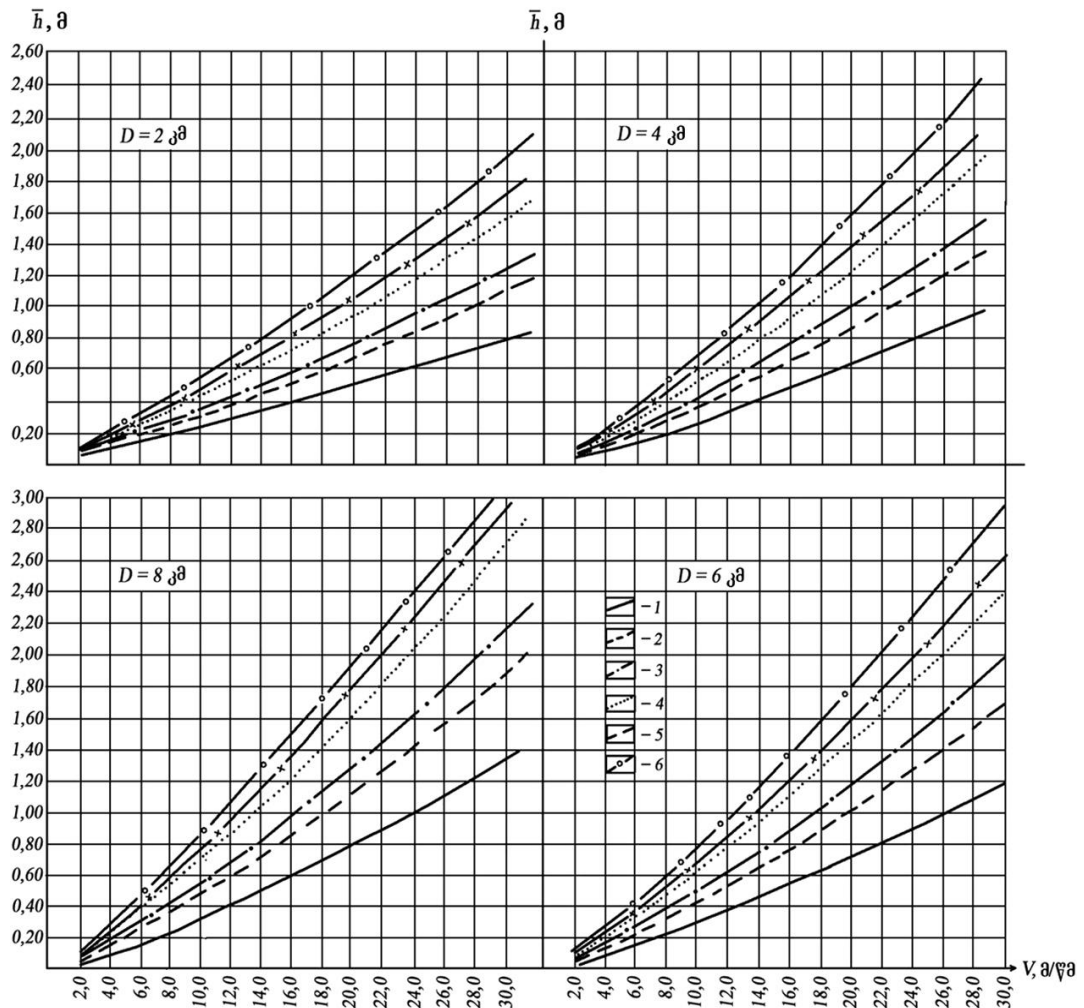
ფერდის წარეცხვის ზედა ზღვარი (a_1) დამოკიდებულია ფერდზე ტალღების აგორების სიმაღლეზე (h_{runup}), ფერდზე ტალღურ ($h_{ტალ.მოდ}$) და ქარისეულ ($h_{ქარ.მოდ}$) მოდენაზე:

$$a_1 = h_{runup} + h_{ტალ.მოდ} + h_{ქარ.მოდ} \text{ მ,} \quad (1)$$

სადაც $h_{runup} = 1,1h_{1\%} \cdot K_r \cdot K_{run}$, მ; $h_{ტალ.მოდ} = 0,5h_{1\%}$, მ; $h_{ქარ.მოდ} = 0,0010h_{1\%}$, მ; K_r – ფერდის სიმქისის კოეფიციენტი; K_{run} – კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ფერდის დახრილობაზე – $K_{run} = 0,5-1,2$; $h_{1\%} = \bar{h} \cdot P_{1\%}$ – 1%-იანი ტალღის სიმაღლე; $\bar{h} = f(A_b \cdot V_c \cdot D)$ (ნახ. 20).

ხრამის წყალსაცავის ნაპირების მოკლე დახასიათება (+ 1506,0 მ-ზე)

| ინდექსი | ნაპირის გენეტიკური ტიპები | სიგრძე, კმ | ნაპირების სახეობა | თანამედროვე გეოლოგიური პროცესები | ლითოლოგია | ნაპირის საშუალო დახრილობა | ნაპირის გადამუშავების სიმძლავრე, მ | მონაკვეთის ადგილმდებარეობა |
|----------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|----------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| I | აბრაზიული | 14,5 (52%) | | | | | | |
| | აბრაზიული კლდოვანი | 0,7 (2,6%) | სუსტად გადამუშავებული | აბრაზია | დოლერიტები | 5°-10° | 0,2-0,3 | სამხ.აღმ.; ს. წინწყაროს ზემოთ |
| | | 1,5(5,4%) | საშუალოდ გადამუშავებული | — | ანდეზიტო-ბაზალტი | 10°-15° | 0,2-0,3 | სამხრ.-დას. |
| | | 1,2(4,3%) | ძლიერ გადამუშავებული | — | დოლერიტები | 20-30° | 5,0-6,0 | კაშხლის მიმდებარე |
| | აბრაზიული ბმული | 1,2(4,3%) | ზედაპირულად ჩამორეცხილი | ჩამორეცხილი | ქვიშნარი | 5°-9° | 0,1-0,2 | სამხრ.-დას.; ჩრდ |
| | | 2,0(7,2%) | სუსტად წარეცხვადი | აბრაზია | თიხნარი, ალუვიონი | 10°-16° | 0,3-0,5 | სამხრ.-დას.; ჩრდ |
| | | 2,8(10,0%) | საშუალოდ წარეცხვადი | — | — | 18°-25° | 0,5-3,0 | სამხრ.; ჩრდ -დას. |
| | | 3,2(11,5%) | ინტენსიურად წარეცხვადი | — | — | 60°-80° | 3,0-12,0 | სამხრ.-აღმ. |
| | ზვავური, ფლატისებური | 1,0(3,5%) | მაღალი დახრამული | ზვავი, ხრამები, აბრაზიული | ბმული თიხნარი | 60°-70° | 2,5-5,0 | სამხრ.-აღმ. |
| | მეწყერული | 0,9(3,2%) | ტერასირებული | მეწყერი, აბრაზია | დელუვიალური თიხნარი | 36°-45° | 1,0-3,0 | სამხრ.-აღმ. |
| | II | აკუმულაციური | 3,4(12,0%) | | | | | |
| ტალღურ-აკუმულაციური | | 0,40(1,5%) | პლაჟის ტიპის | აკუმულაცია | ხრეში, კენჭი | 2,0°-4,0° | 0,5-0,7 | სამხრ.-დას; სამხრ. |
| ალუვიურ-აკუმულაციური | | 3,0(10,5%) | ლამი | აკუმულაცია | ალუვიური ნალექი | <2° | 0,6-0,8 | მდინარეების შესართავები |
| ლაგუნის ტიპი | | 2,8(10%) | დამრეცი | — | ნატანის დანალექი | <2° | — | სამხრ.-დას; ჩრდ. |
| III | ნეიტრალური | 6,0(21%) | რიყისებური | | თიხნარები, ქვიშა | 2°-5° | — | სამხრ.-დას; ჩრდ.-აღმ. |
| IV | დაჭაობებული | 1,6(5%) | დაბალი | | თიხნარი, ლამი | 1° | — | ჩრდ.-აღმ. |



ნახ. 20. ტალღის გასაშუალებული სიმაღლის ($\bar{h}_{ღრმ}$), სიჩქარის (V_C), ტალღის გაქანების (D) და (A_b)-ს დამოკიდებულება $\bar{h}_{ღრმ} = f(A_b, V_C, D)$,
 1 – $A_b = 0,01$; 2 – $A_b = 0,014$; 3 – $A_b = 0,016$; 4 – $A_b = 0,020$; 5 – $A_b = 0,022$;
 6 – $A_b = 0,025$.

წყალსაცავების ბმული გრუნტებისგან შედგენილი ნაპირების წარცხვის ქვედა საზღვრის (a_2) გაანგარიშების საფუძვლად მიღებულია წყლის ნაკადის მოქმედი ($V_{საან.}$) და დასაშვები არაგამარეცხი ($V_{დას.}$) სიჩქარეების ტოლობა:

$$V_{საან.} = V_{დას.}, \quad (2)$$

სადაც $V_{დას.}$ – ფსკერული არაგამრეცხი სიჩქარეა, მისი მნიშვნელობა ბმული გრუნტებისათვის, ყველა შესაძლო ფაქტორების გათვალისწინებით, განისაზღვრება აკად. ც. მირცხულავას მიერ შემოთავაზებული ფორმულით:

$$V_{დას.} = 1,25 \sqrt{\frac{2gm_p}{2,6\gamma_{წყ.}n_u} (\gamma_{ღრ.} - \gamma_{წყ.}) d_{საშ.} + 1,25K_0 C_\gamma^H}, \quad (3)$$

ხოლო $V_{საან.}$ – წყლის ნაკადის საანგარიშო სიჩქარე, რომლის მნიშვნელობა შეიძლება განისაზღვროს სითხეების ტალღური მოძრაობის თეორიიდან, კერძოდ, ჰერსტენერის ტროქოიდალური ტალღების თეორიიდან (ტალღის სიმაღლის – h , სიგრძის – λ და წარეცხვის ქვედა საზღვრის a_2 გათვალისწინებით):

$$V_{საან.} = \frac{n_u \pi h}{\sqrt{\frac{\pi \lambda}{g} \cdot sh \frac{4\pi a_2}{\lambda}}}, \quad (4)$$

სადაც λ , h – წყალსაცავის ზედაპირზე ქარისეული ტალღის სიგრძე და სიმაღლე, მ; $\gamma_{წყ.}$, $\gamma_{გრ}$ – წყლის და გრუნტის ხვედრითი წონა, კგ/მ³; n_u – მუშაობის გადატვირთვის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ნაკადის პულსაციურ მნიშვნელობას და განისაზღვრება ფორმულით

$$n_u = \left(\frac{V_{max}}{\bar{V}} \right)^2, \quad (5)$$

სადაც V_{max} – მაქსიმალური პულსაციური ფსკერული სიჩქარეა; \bar{V} – გასაშუალებული ფსკერული სიჩქარე (სპეციალური კვლევების არარსებობისას $n=4$); m_p – გრუნტის ნაწილაკების მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს კოლოიდურ მდგომარეობაში ნატანის ზემოქმედებას, 0,1 კგ/მ³; $d_{საშ}$ – გრუნტის ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი, ტ; $g = 9,81$ მ/წმ² – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება; K_0 – ბმული გრუნტების ერთგვაროვნობის კოეფიციენტი, განისაზღვრება ფორმულით $K_0 = d_{საშ} / d_{95}$, სადაც $d_{საშ}$ – გრუნტის დიამეტრის საშუალო მნიშვნელობაა, d_{95} – ნაწილაკების დიამეტრი, რომელთა რაოდენობა ნარევის მასის 95%-ზე ნაკლებია; $C_\gamma^H = 0,035$ ტ/მ² – ბმული გრუნტების დადლილობის ნორმატიული სიმტკიცე; C – ბმული გრუნტების საანგარიშო შეჭიდულობა, რომლის მნიშვნელობა განისაზღვრება ნ.ა. ციტოვიჩის მეთოდის გამოყენებით.

როგორც ვხედავთ, ეს პროცესი რთულია, მაგრამ მე შევეცადე ამ პროცესის პროგნოზირების ანალიზური მეთოდის დამუშავებას. (3) და (4) ფორმულების გათანაბრებისას ($V_{საან.} = V_{ფსკ.}$) მივიღებთ:

$$1,25 \sqrt{\frac{2gm_p}{2,6\gamma_{\text{ფყ}} \cdot n_u} (\gamma_{\text{გტ.}} - \gamma_{\text{ფყ.}}) d_{\text{საშ.}} + 1,25K_0 C_\gamma^H} = \frac{0,75\pi h}{\sqrt{\frac{\pi\lambda}{g} \cdot sh \frac{4\pi a_2}{\lambda}}}. \quad (6)$$

ართომეტიკული გაანგარიშების შემდეგ, მივიღებთ:

$$sh \frac{12,56a_2}{\lambda} = \frac{1,47\gamma_{\text{ფყ.}} n_u h^2}{\gamma m_p [(\gamma_{\text{გტ.}} - \gamma_{\text{ფყ.}}) d_{\text{საშ.}} + 1,25K_0 C_\lambda^Y] \cdot \lambda}. \quad (7)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ჰიპერბოლოიდური სინუსი ტოლია:

$$x = Sh\gamma, \text{ აქედან } \gamma = Arshx, \quad (8)$$

მაშინ
$$\frac{12,56a_2}{\lambda} = Arsh \frac{1,47\gamma_{\text{ფყ.}} n_u h^2}{\gamma m_p [(\gamma_{\text{გტ.}} - \gamma_{\text{ფყ.}}) d_{\text{საშ.}} + 1,25K_0 C_\lambda^Y] \cdot \lambda}. \quad (9)$$

აქედან **ბმული** გრუნტებისგან შედგენილი ნაპირის წარეცხვის ქვედა საზღვარი (a_2), რომელიც მიღებულია ანალიზური მეთოდით, ტოლია:

$$a_2 = 0,796 \cdot \lambda \cdot Arsh \frac{1,47\gamma_{\text{ფყ.}} n_u h^2}{\gamma m_p [(\gamma_{\text{გტ.}} - \gamma_{\text{ფყ.}}) d_{\text{საშ.}} + 1,25K_0 C_\lambda^Y] \cdot \lambda}. \quad (10)$$

როგორც ვხედავთ, ფორმულა (10) მრავალფაქტორიანი რთული ფორმულაა.

ბმული გრუნტებისგან აგებული ფერდის წარეცხვის ქვედა საზღვრის (a_2) პრაქტიკული გაანგარიშება შეიძლება ჩატარდეს გამარტივებული **ოპტიმიზირებული** მეთოდით – 21-ე ნახაზის გამოყენებით.

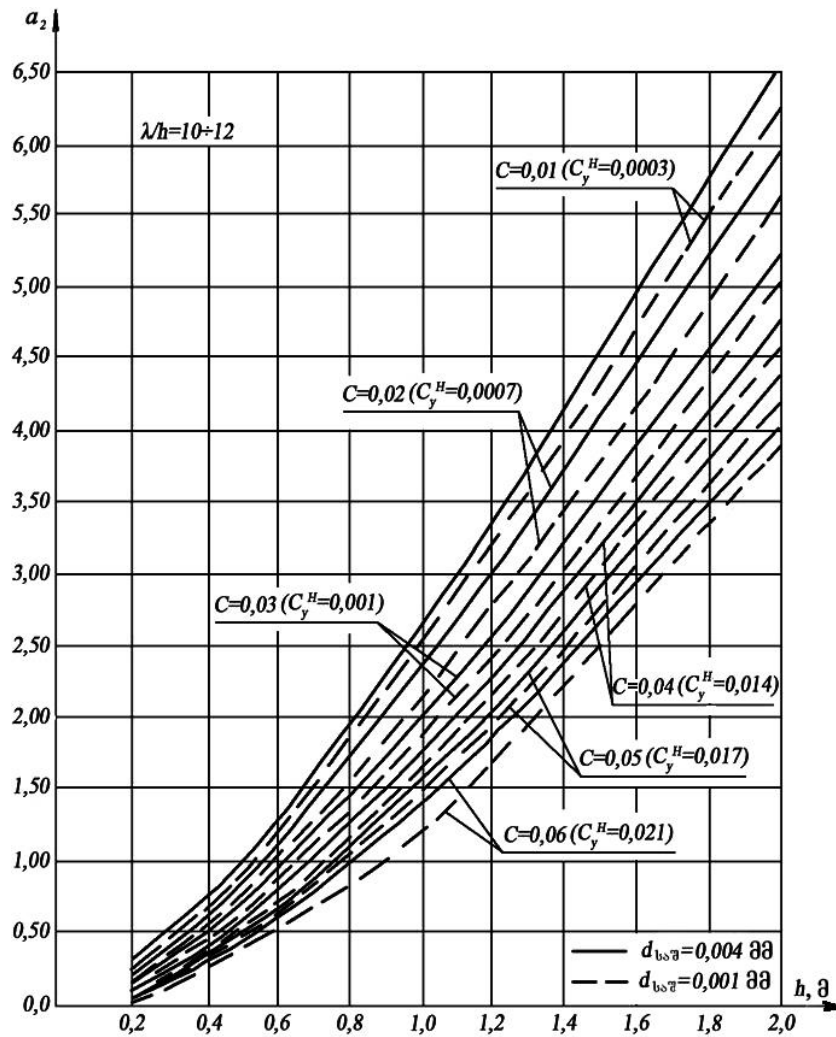
პერიოდი $T_{\text{წელ.}}$, რომლის მანძილზე წყალსაცავის ნაპირი საბოლოო პროფილს მიიღებს, იქნება:

$$T_{\text{წელ.}} = 2 \frac{S}{V_{\text{max}}} \text{ წელიწადი}, \quad (11)$$

სადაც V_{max} – ფერდის წარეცხვის მაქსიმალურისიჩქარეა, მ/წელიწადში.

პრაქტიკული, საორიენტაციო გაანგარიშებისას დასაშვებია:

– თიხნარით აგებული ფერდის წარეცხვის ზედა საზღვარი: $a_1 \approx h$, მ;
 ხოლო ფერდის წარეცხვის ქვედა საზღვარი $a_2 = 1,3 h$, მ, სადაც h – ტალღის სიმაღლეა (მ).



ნახ. 21. ბმული გრუნტებისგან აგებული ფერდის წარეცხვის ქვედა საზღვრის (a_2) დამოკიდებულება ტალღის სიმაღლეზე (h), ფერდის გრუნტების შეჭიდულობაზე (C) და გრუნტის საშუალო დიამეტრზე ($d_{ს,შ}$)
(1 – $d_{ს,შ} = 0,004$ მმ; 2 – $d_{ს,შ} = 0,001$ მმ; $\lambda/h = 10 \div 12$)

თბილისის წყალსაცავის საბრაზიული პროგნოსტიკული ნაპირის აგების ოპტიმიზირებული მეთოდის გამოყენებით ანგარიშის მაგალითი მოყვანილია ცხრილში 4.

მეცხრე თავში – „მთის წყალსაცავების ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების განვითარების საწინააღმდეგო ღონისძიებები“ – განხილულია სედიმენტაციური პროცესების შემცირების გამაფრთხილებელი და საექსპლუატაციო ღონისძიებები.

გამაფრთხილებელი ღონისძიებებია – წყალსაცავში შემოსული ნატანის მოცულობის საერთო შემცირება მთის ნაკადის აუზში ნიადაგის ეროზიის შემცირებით.

თბილისის წყალსაცავის წარეცვის ზედა (a_1) და ქვედა (a_2) საზღვრების გაანგარიშება (განიკვეთი 1; $\lambda/h = 10$, $d_{სა} = 0,004$ მმ; $C = 0,06$)

| $A_b = f(a)$ | ტალღების გაქანების სიგრძე ქარის R/დ-ის მიმართულებისას, კმ | R/დ-ის მიმართულების ქარის სიჩქარე V_c , მ/წმ | \bar{h} | $P\%$ | $h\%$ | K_r | $K_{sum} (\alpha=12^\circ)$ | $h_{შაპი}, მ$ | $h_{ტალღი}, მ$ | $h_{ქარი}, მ$ | a_1 (ფორმულა 8) | a_2 (ნახ. 20) | ბუნებრივი ფერდის დაბრილობის კუთხე (წყლის დონის ზემოთ) $\alpha^{\circ}1$ | ბუნებრივი ფერდის დაბრილობის კუთხე (წყალქვეშ) $\alpha^{\circ}2$ |
|--------------|---|--|-----------|-------|-------|-------|-----------------------------|---------------|----------------|---------------|-------------------|-----------------|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 0,014 | 3,5 | 37,0 | 1,4 | 1,1 | 1,54 | 0,9 | 1,2 | 1,83 | 0,77 | 0,01 | 1,6 | 2,7 | 20,0 | 10,0 |
| | | | | | | | | | | | ნატურა 1,3 | ნატურა 1,5 | | |

ესენია, მდინარის სათავეში ტყის გაშენების ღონისძიებები, წყალსაცავისა და მდინარეების წყალდამცავი ზონების დანიშვნა და სხვ.

საექსპლუატაციო ღონისძიებებია – წყალსაცავის ფსკერის ჰიდრაულიკური ჩარეცხვები ფსკერული გალერეების მეშვეობით; მექანიკური გაწმენდა; კაშხლის ქიმის ამაღლება წყალსაცავის მოცულობის გაზრდის მიზნით; წყლის ტრანზიტული ჩამოგდება გვერდითი წყალგამშვები მოწყობილობების – გამყვანი არხების, გვირაბის, ნატან-ამცილებელი მოწყობილობების მეშვეობით; ნაპირსამაგრი ნაგებობების მოწყობა და სხვ.

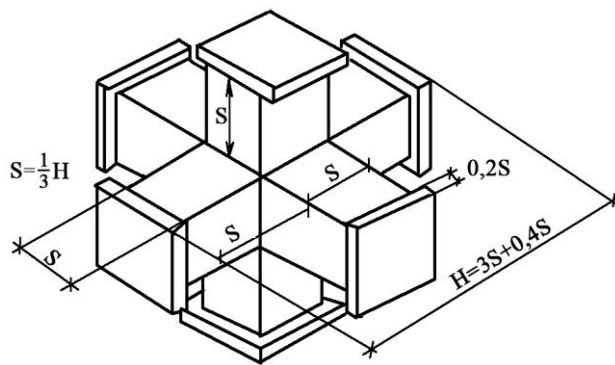
აქ უნდა აღვნიშნოთ ის კვლევები, რომლებიც ეხება ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებებს, რომელთა სათავეში არიან ქართველი მკვლევარები **გ. ხერხეულიძე და გ. გავარდამვილი**.

აღნიშნულია, რომ მთის და მთისწინეთის წყალსაცავებში სედიმენტაციური პროცესები უფრო მაღლი ინტენსივობით მიმდინარეობს, ვიდრე ვაკის წყალსაცავებში.

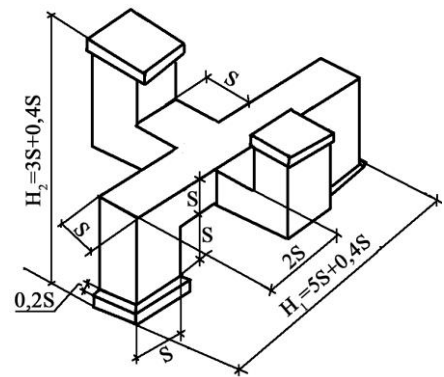
განხილულია ნატანდამჭერი ნაგებობებისა (წყალსაგდები ნაგებობები წყალსაცავის ზედა ნაწილში და სალექარები) და ნატანის აცილების არსებული რიგი ნაგებობები, მათი დადებითი და უარყოფითი მხარეები; მითითებულია, რომ მთის წყალსაცავებისათვის, სადაც მაღალია მდინარეებით

ჩამოტანილი ნატანის სიმძლავრე, ეს ნაგებობები ძალიან მალე დაისილება. ამიტომ ეფექტურია კაშხლების ძირში გამრეცხი გალერეების მოწყობა და ფსკერის მექანიკური გაწმენდა. შემოთავაზებულია წყალსაცავების ფსკერის ნატანისაგან გაწმენდის საერთო რეკომენდაციები.

მეათე თავში – „მთის წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვისგან დამცავი ღონისძიებები“ – დამუშავებულია ფასონური ბლოკების ახალი ტიპები – „ჰექსაბლოკი“ და „ტეტრაბლოკი“ (დასახელება შერჩეულია ჩვენ მიერ, მათი შვერილების რაოდენობის შესაბამისად – „ჰექს“ – ექვსი და „ტეტრა“ – ოთხი (ნახ. 22, 23).



ნახ. 22. „ჰექსაბლოკის“ სქემა

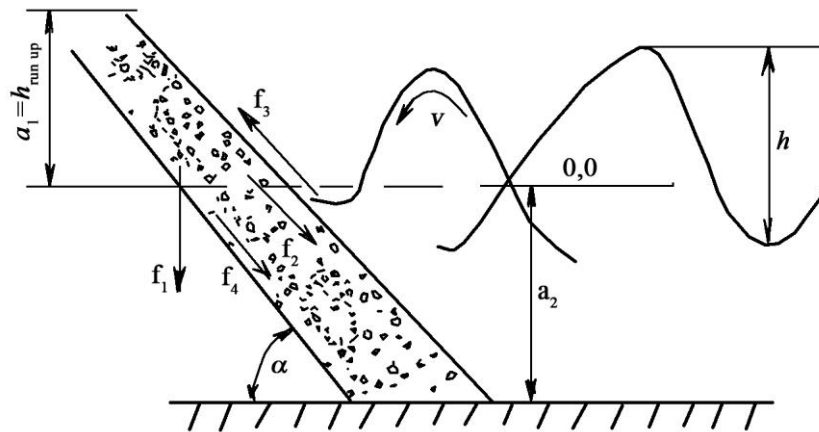


ნახ. 23. „ტეტრაბლოკის“ სქემა

შემოთავაზებული ბლოკებით გამაგრებულ ფერდზე ტალღების აგორების სიმაღლე 30-40%-ით ნაკლებია, ვიდრე არსებული ბლოკებით (დოლოსი, ტრიბირი, სტაბიტი და სხვ.) გამაგრებულ ფერდზე. გარდა ამისა, „ჰექსაბლოკი“ და „ტეტრაბლოკი“ გამოირჩევა უფრო მაღალი ურთიერთშეკრულობით, ფერდზე მდგრადობით, მაღალი ტალღაჩამქრობი უნარით და რაც მთავარია – მცირე წონით.

„ტეტრაბლოკის“ და „ჰექსაბლოკის“ **ოპტიმალური წონის** ანგარიში ტარდება **სტაბილიზებადი** და **გამომწვევი** ფაქტორების საფუძველზე, მსგავსების თეორიის გამოყენებით. ანგარიშში გათვალისწინებულია განმსაზღვრელი პარამეტრები, ესენია: m – ბლოკის მასა (ტ); ρ_m – ბლოკის მასალის სიმკვრივე (ტ/მ³); α – ფერდის დახრილობის კუთხე (გრადუსებში); h – ტალღის სიმაღლე (მ); λ – ტალღის სიგრძე (მ); θ – ტალღების ნაპირთან მოსვლის კუთხე (რადიანებში); ρ – წყლის სიმკვრივე, g – თავისუფალი ვარდნის

აჩქარება; μ – წყლის კინემატიკური სიბლანტე, (ნახ. 24).



ნახ. 24. „ტეტრაბლოკებით“ ან „ჰექსაბლოკებით“ შექმნილი კონსტრუქციის მდგრადობის განმსაზღვრელი ფაქტორების სქემა

მაშინ, განმსაზღვრელი პარამეტრების სისტემა იქნება:

$$f(m, \rho_m, \rho, \alpha, h, \lambda, \theta, g, \mu) = 0. \quad (12)$$

პარამეტრების უგანზომილებო სახით გათვალისწინებით, დამოკიდებულება (12) ასე ჩაიწერება:

$$f\left(\frac{m}{\rho_m \cdot h^3}, \text{ctg} \alpha, \frac{\rho_m}{\rho}, \frac{h}{\lambda}, \theta, \frac{h^2}{\left(\frac{\lambda}{g}\right)^{0,5} \mu}\right) = 0, \quad (13)$$

მაშინ მასივის ელემენტის ოპტიმალური მასა ჩაიწერება უნივერსალური დამოკიდებულების სახით:

$$m = \frac{a \rho_m h_{1\%}^3}{(\rho_m - \rho)^3 \text{ctg} \alpha} \cdot \sqrt{\frac{\lambda_{1\%}}{h_{1\%}}}. \quad (14)$$

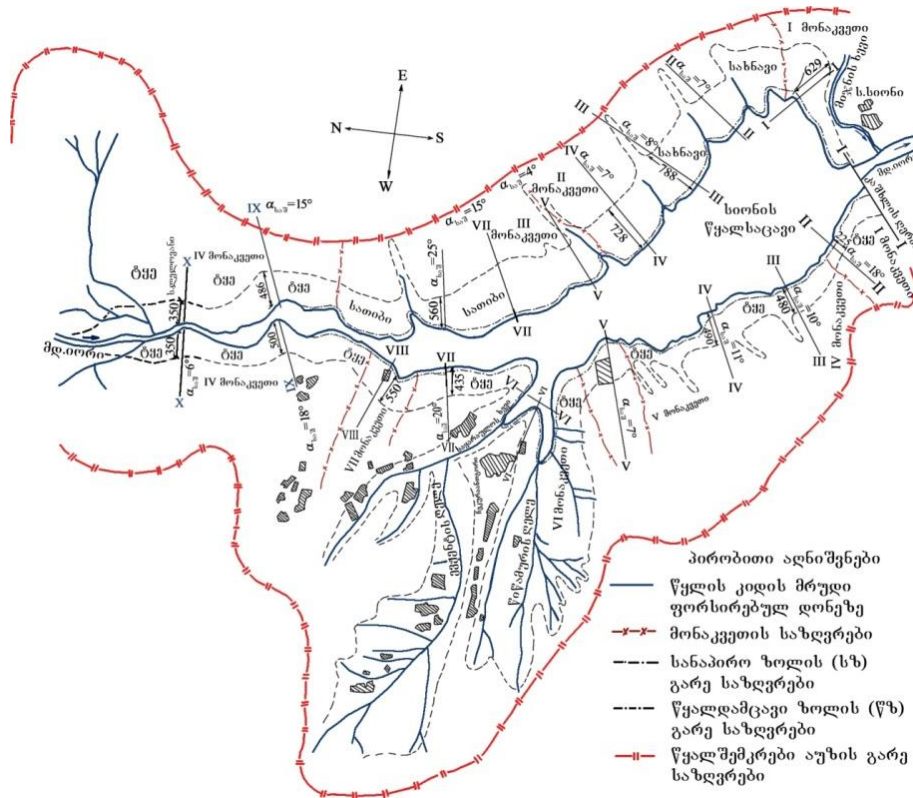
დამუშავებულია მთისწყალსაცავების წყალდამცავი სანაპიროზოლის (ს. ზოლ.) და წყალდამცავი ზონის (წ. ზონ.) სიდიდეები. წყალდამცავი სანაპირო ზოლის (ს. ზოლ.) სიგანე ($L_{ს. ზოლ.}$) ინიშნება წყალსაცავის ნაპირების 1%-იანი უზრუნველყოფის დატბორვით. წყალდამცავი ზონის (წ. ზონ.) სიგანე ($L_{წ. ზონ.}$) განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$L_{წ. ზონ.} = L_{ს. ზოლ.} + (\pm \Delta L_i) \text{ მ}, \quad (15)$$

სადაც $L_{ს. ზოლ.} = 400,0 \div 500,0$ მ; ΔL_i – ფერდის შემასწორებელია, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია ფერდის დახრილობაზე, ტყის და ნიადაგის სახეობაზე,

ფერდის ექსპოზიციაზე, ნახნავის მიმართულებაზე, წყალსაცავში აზოტის და ფოსფორის ჩამონატანზე და სხვ.

მოყვანილია სიონის წყალსაცავის წყალდამცავი ზონის (წ. ზონ.) საზღვრების დანიშვნის მაგალითი (ნახ. 25)



ნახ. 25. სიონის წყალსაცავის წყალდამცავი ზონის საზღვრები

ზოლი, რომელიც ემიჯნება წყალსაცავს და რომლის სიგანეა 300,0 მ – მკაცრი რეჟიმის ზონაა; მეორე ზონა, რომლის სიგანეა 100,0 მ – შეზღუდული რეჟიმის ზონაა; მესამე ზონა, რომლის სიგანეა 100,0 მ – სადამკვირვებლო ზონაა. პირველ ზოლში უნდა აიკრძალოს: ახალი ობიექტების მშენებლობა, ნიადაგების შხამქიმიკატებით დამუშავება ქლორორგანული ნივთიერებების გამოყენებით, სასაფლაოების მოწყობა, სასაქონლო და საქათმე ფერმების მოწყობა. მეორე და მესამე ზოლებში – უნდა აიკრძალოს ახალი სასაფლაოების და ფერმების მოწყობა და წყალში ხსნადი სასუქების გამოყენება.

ძირითადი დასკვნები და რეკომენდაციები

- აღწერილია და გაანალიზებულია უძველესი დროიდან შექმნილი წყალსაცავების ძირითადი მაჩვენებლები, მოყვანილია მსოფლიოს წყალსაცავების რაოდენობის და სრული მოცულობის დინამიკა;
- ნაშრომში დამუშავებულია საქართველოს მთის და მთისწინეთის რეგიონების 32 წყალსაცავის კლასიფიკაცია სიღრმის, ჰიდრომეტრიული, მორფოლოგიური, მოცულობის, წყლის ჩამონადენის დარეგულირების და სხვა მაჩვენებლების მიხედვით;
- კვლევების ანალიზით დადგენილია, რომ მთისწყალსაცავების ნაპირების გადამუშავების ძირითადი მოქმედი ფაქტორებია – ქარ-ტალღური რეჟიმი, დონის დამუშავება, სანაპირო ზონის კონფიგურაცია, ფერდობის დახრილობა, გრუნტების ტიპი, ხოლო ნაპირების გადამუშავების გამოკვლევა უნდა ხორციელდებოდეს ნაპირების ყველა კონკრეტული უბნისათვის;
- დასაბუთებულია მთის და მთისწინეთის წყალსაცავებისათვის ნატურული კვლევების მონაცემების საჭიროება;
- ჩატარებული საველე სამუშაოების ანალიზის საფუძველზე მთის წყალსაცავის დალექვის პროცესი დაყოფილია სამე ტაპად: პირველი ეტაპი – შეინიშნება ფსკერის მონოტონურად დალექვა; მეორე ეტაპი – დალექვის პროცესის ინტენსივობის შემცირება, ქვედა ბიეფში ნატანის ჩამოგდებით; მესამე ეტაპი – ნატანის მთლიანად ჩამოგდება ქვედა ბიეფში, რომლის დროსაც პროცესის ტაბილურ ხასიათს იღებს;
- მოყვანილია ჟინვალის, სიონის, თბილისის, ხრამის, შაორის, ლაჯანურის და ტყიბულის წყალსაცავების სედიმენტაციურ-აბრაზიული პროცესების კვლევების შედეგები;
- დადგენილია, რომ საქართველოს წყალსაცავების სედიმენტაციური პროცესების (დალექვისა და დალამვის) შეფასების საკითხები მეტად მნიშვნელოვანია, ეს ობიექტები გასული საუკუნის შუა წლებშია შექმნილი და უკვე „დაბერების“ (დამველების), ანუ მათი ფუნქციონირების საიმედოობის შემცირების სტადიაშია. წყალსაცავებში შეიმჩნევა დალექილი ნატანის მოცულობის სწრაფი ზრდა, რის გამოც მცირდება წყლის სასარგებლო

მოცულობა და იგი კარგავს თავის მთავარ დანიშნულებას – წყლის დაგროვება და რეგულირება;

➤ გაანალიზებულია საქართველოს მთის რიგი წყალსაცავების – ჟინვალის, ხრამის, თბილისის, ტყიბულის, შაორის, სიონისა და ლაჯანურის – ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების მასშტაბები და დინამიკა, დამუშავებულია ამ პროცესების პროგნოსტიკული ჯგუფები;

➤ დამუშავებულია წყალსაცავების (ჟინვალის, ხრამის, თბილისის, ტყიბულის, შაორის, სიონისა და ლაჯანურის) აბრაზიული ნაპირების წარეცხვის მასშტაბები და ამ პროცესების გაანგარიშების ახალი ანალიზური და ოპტიმიზირებული მეთოდები;

➤ შემოთავაზებულია ნაპირებზე აბრაზიული პროცესების შემცირების ახალი მეთოდი – ბეტონის ფიგურული ბლოკების – „ჰექსაბლოკის“ და „ტეტრაბლოკის“ გამოყენებით. ბლოკებით გამაგრებულ ფერდზე ტალღების აგორების სიმაღლე 30-40%-ით ნაკლებია, ვიდრე არსებული ბლოკებით (დოლოსი, ტრიბირი, სტაბიტი და სხვ.) გამაგრებულ ფერდზე. გარდა ამისა, „ჰექსაბლოკი“ და „ტეტრაბლოკი“ გამოირჩევა უფრო მაღალი ურთიერთშეკრულობით, ფერდზე მდგრადობით, მაღალი ტალღაჩამქრობი უნარით და რაც მთავარია – მცირე წონით;

➤ გაანგარიშებულია მთის წყალსაცავების წყალდამცავი სანაპირო ზოლის (წ.ზოლ.) და წყალდამცავი ზონის (წ.ზონ.) საზღვრების სიგანეების მნიშვნელობები;

➤ სადისერტაციო ნაშრომში მიღებული შედეგების გამოყენებით შესაძლებელი იქნება მრავალი სამუშაოს ჩატარება: წყალსატევების ფსკერის მოსილვის და ნაპირების აბრაზიული პროცესების მასშტაბისა და დინამიკის დადგენა; წყალსაცავის ფსკერიდან გაანგარიშებული ნატანის მოცულობის ამოღება წყალსაცავების წყლის სასარგებლო მოცულობის მატებისთვის, რაც გაზრდის მელიორაციის და ჰიდროენერგეტიკის ეფექტიანობას და დაიცავს დასახლებულ პუნქტებს კატასტროფული დატბორვისაგან; წყალსაცავების კარიერიდან ამოღებული ნატანის გამოყენება საკომუნიკაციო ინფრასტრუქტურის, სამშენებლო ინდუსტრიის განვითარებისა და ნიადაგის

განაყოფიერებისათვის და სხვ.

➤ დამუშავებული ახალი ნაპირსამაგრი კონსტრუქციები – „ჰექსაბლოკითა“ და „ტეტრაბლოკით“ შესაძლებელი გახდება მთის წყალსაცავების ციკაბო ნაპირების დაცვა აბრაზიული პროცესებისაგან;

➤ კვლევებით მიღებული შედეგები გამოყენებული იქნება მელიორაციაში (მოსარწყავად), სასმელი წყლისთვის, ენერგეტიკაში, სარეკრეაციო მიზნებისათვის და ა.შ.

➤ კვლევის შედეგები ხელს შეუწყობს მთის წყალსაცავების სფეროში მოღვაწე მეცნიერებს, დამპროექტებელ და წყალსაცავების საექსპლუატაციო ორგანიზაციებს სამომავლო კვლევების და უარყოფითი პროცესების შესამცირებლად პრაქტიკული ღონისძიებების განხორციელებაში.

ნოდარ კანდელაკის მიერ გამოქვეყნებული შრომათა სია (მათ შორის თანაავტორობით)

1. Иорданишвили И.К., Иорданишвили К.Т., Хосрошвили Е. З., **Канделаки Н.В.** Оценка занесения горных водохранилищ Грузии. //Сб. тр. 2-й Международной научно-технической конференции "Современные проблемы охраны окружающей среды, архитектуры и строительства". Кобулет; Универсал, 2012, с. 70-75.
2. იორდანიშვილი ი., თევზაძე თ., იორდანიშვილი კ., ირემაშვილი ი., შავლაყაძე მ., **კანდელაკი ნ.**, ბილანიშვილი ლ. სიონის კაშხლის უსაფრთხოების შეფასება. //საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №69, თბილისი, უნივერსალი, 2014, გვ. 123-126.
3. იორდანიშვილი ი., იორდანიშვილი კ., ნატროშვილი გ., ფოცხვერია დ., **კანდელაკი ნ.** ბილანიშვილი ლ. სიონის მიწის კაშხლის სუფოზიური და ფილტრაციული პროცესების შეფასება. //საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №70, თბილისი, უნივერსალი, 2015, გვ. 72-76.
4. Иорданишвили И.К., Иремашвили И.Р., Иорданишвили К.Т., **Канделаки Н.В.** Динамика формирования ложа водохранилищ Грузии. //Сб. тр. VI-й Международной научно-технической конференции "Современные проблемы водного хозяйства, охраны окружающей среды, архитектуры и строительства". Тбилиси, Универсал, 2016, с. 78-89.
5. Iordanishvili I., Iremashvili I., Iordanishvili K., Bilanishvili L., Potskhveria D., **Kandelaki N.**, Sukhishvili N. Graphoanalytical method of forecasting the transformation of abrasion banks of highland water reservoirs. //VII International Scientific and Technical conference "Modern Problems of water management,

- environmental protection, architecture and construction". Tbilisi, Universal, 2017, pp. 52-60.
6. **კანდელაკი ნ.**, სილაგაძე ა. სიონის წყალსაცავის ფსკერზე სედიმენტაციური პროცესების შეფასება და პროგნოზირება. //საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №72, თბილისი, უნივერსალი, 2017, გვ. 99-106.
 7. იორდანიშვილი ი., ირემაშვილი ი., ფოცხვერია დ., **კანდელაკი ნ.**, ბილანიშვილი ლ. გლობალური დათბობით გახშირებული სტიქიური მოვლენების გავლენა საქართველოს წყლის რესურსებზე. //საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №72, თბილისი, უნივერსალი, 2017, გვ. 75-87.
 8. Иорданишвили И., Иремашвили И., Иорданишвили К., **Канделаки Н.** Практический метод прогноза абразионных процессов на берегах горных водохранилищ. //Ж. "Водные проблемы: наука и технология", 2(12) Баку, 2018, с. 27-38.
 9. **Kandelaki N.**, Kupreishvili Sh. Efficiency of water reservoir construction in mountainous areas. /VIII International Scientific and Technical Conference "Modern problems of water management, environmental protection, architecture and construction". Tbilisi, Universal, 2018, pp. 142-155.
 10. **კანდელაკი ნ.** ლაჯანურის და ტყიბულის წყალსაცავების სედიმენტაციური პროცესების დინამიკა. /საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 86-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. თბილისი, გამომცემლობა ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2019, გვ. 30.
 11. **Kandelaki N.**, Iordanishvili I., Ujma A., Iremashvili I., Iordanishvili I., Kupreishvili Sh., Shurgaia V., Natroshvili G. Impact of Natural Disasters on Water Resources of Georgia Caused by Global Warming, Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics. Vol. 66 (2019), №1-2, Institut of Hydro-engineering of Polish Academy of sciences, pp. 15-26.
 12. **კანდელაკი ნ.** ჟინვალის, თბილისის, ხრამის, ტყიბულის, შაორის და ლაჯანურის წყალსაცავების სედიმენტაციური პროცესების გაანგარიშება და პროგნოსტიკული ჯგუფების დამუშავება. /საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 87-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. თბილისი, გამომცემლობა ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2019.
 13. **კანდელაკი ნ.**, კუპრეიშვილი შ. სედიმენტაციური პროცესების განვითარების საწინააღმდეგო ღონისძიებები მთის წყალსაცავებში. /IX საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „წყალთა მეურნეობის, გარემოს დაცვის, არქიტექტურისა და მშენებლობის თანამედროვე პრობლემები“, თბილისი, უნივერსალი, 2019, გვ. 122-129.
 14. Уйма А., Иорданишвили И., Иремашвили И., Вартанов М., **Канделаки Н.**, Иорданишвили К. Качество водных ресурсов бассейнов Балтийского и Черного морей в условиях изменения климата. //Сб. тр. IX Международной научно-технической конференции "Современные проблемы охраны окружающей среды, архитектуры и строительства". Тбилиси, Универсал,

2019, c. 263-277.

15. კანდელაკი ნ., იორდანიშვილი ი., ირემაშვილი ი., კუპრეიშვილი შ., იორდანიშვილი კ. წყალსაცავების აბრაზიული ნაპირების წარეცხვისაგან დამცავი ახალი კონსტრუქციების დამუშავება. /საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ბუნების კატასტროფები საქართველოში: მონიტორინგი, პრევენცია, შედეგების შერბილება“. თბილისი, ი.ვ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2019, გვ. 237-243.
16. **Kandelaki N.**, Jordanishvili I., Iremashvili I., Ujma A., Shurgaia V., Jordanishvili K. Modeling Procedure of Coastal Protection Shaped Blocks with High Wave Suppressing and Interlocking Capacity. XXII International Scientific Conference on Advances in Civil Engineering. Construction the formation of Living Environment, Tashkent (Uzbekistan), E3S Web of Conferences 97, 2019.

Resume

The main indicators of the reservoirs created since ancient times are described and analyzed, the dynamics of the number and full volume of reservoirs in the world are given. The advantages of mountain and foothill reservoirs compared to the lowland reservoirs. It is noted that Georgia belongs to those countries that can meet the needs of energy and irrigation by their own hydro resources. The main task of designers of hydraulic units is to meet the needs of irrigation and hydropower.

The most rational scheme for obtaining electricity in highland regions is to install high-pressure units in the high levels of main river and its tributaries, and irrigation in the lower reaches of the river. Usually, the top of the mountain rivers are located in deep and steep slopes. Therefore, it is advisable to build high dams here, while the lower part of the area, which is located on small incline areas and has been inhabited and recultivated for many thousands of years, is used for irrigation.

It is noted that the water reservoirs are of particular interest in the efficiency of the reservoirs in the practice of using the hydro resources of the Alps mountain regions, as the orohydrographic patterns and exposures of the basins of the Alps and East Georgia rivers are identical. Therefore, it is advisable to construct deep water reservoirs on the territory of Georgia, which are characterized by minor flooding of the area and minor ecological problems.

In order to study the issues raised, it has become necessary to characterize the reservoir foundation of the world, and in particular the territory of Georgia, on the already known studies of sedimentary and coastal abrasive sedimentation

processes.

Based on the data obtained from the existing literature and scientific papers, project design and scientific data from Georgian design organizations, on seven major reservoirs (Sioni, Tbilisi, Zhinvali, Khram, Shaori, Lajanuri and Tkibuli) are designed plan and longitudinal profiles. Based on fieldwork, the current profiles of the bottom and banks of these reservoirs were plotted and projected onto the project profiles. The scale and dynamics of sedimentation and abrasive processes of the above reservoirs have been determined.

Multifactor prognostic dependencies of sedimentation and abrasive processes are derived taking into account period, coastal physical-mechanical structure, wind-wave and level regime and other factors.

Warning and operational measures for the development of sedimentation processes at the bottom of the reservoirs are discussed. It is indicated that the most common method of cleaning the reservoir bottom is to arrange the flushing galleries at the bottom of the dams. It is noted that effective hydraulic discharge from the sediments of the Georgian reservoir has not even been carried out on any reservoir.

New designs designed to protect against leaching of the abrasive shores of mountain reservoirs - Hexablock and Tetrablock, are characterized by high resistance wavebreak and interconnectedness, reduced inclined wave height and slope stability. The universal dependence on the optimal mass of these arrays is calculated.

The principle of classifying coastal and catchment areas as mountain reservoirs has been established.

The following is an formula of the values of the reservoir coastline (RC) and the reservoir protection area (RPA), with a total width of up to 500.0 meters, and its significance depends on the slope gradient, forest type, slope exposure and direction of the slope. An example is the definition of the coastline of the Zion reservoir and the catchment area. It is noted that mainly the values of the protected zones on the Georgian reservoirs are not executed.

The dissertation consists of three parts - introduction, literary review (Chapter I-V), conclusion of the results (Chapter VI-X), conclusion and used literature. The dissertation includes 170 printed pages. Including 55 tables, 73 drawings, 3 maps and 6 photos. 59 denominations of literature are used.

The author has published 16 publications on the topic of the dissertation, the main results of the dissertation are presented at 10 international conferences.