

ბ. ჟოგუღია

**მდინარის ნაქალის მოძრაობისა
და ქალაქოვის რეგულირების
საკითხები**

მ. დ. ლენინის სახელობის საქართველოს
პოლიტექნიკური ინსტიტუტის გამოგცემლობა
თბილისი — 1962 წ.

რედაქტორისაგან

წინამდებარე მონოგრაფიაში „მდინარის ნაყადის მოძრაობისა და კალაპოტის რეგულირების საკითხები“ ვრცლადა განხილული კალაპოტშია პროცესების შესწავლის თანამედროვე მდგომარეობა და მისი გამოყენება კალაპოტის რეგულირებისა და ნაპირების გარეცხვისაგან დაცვის საქმეში.

ძირითად თავებს წინ უძღვის შესავალი ნაწილი, რომელშიც სამამულო და საზღვარგარეთელ მეცნიერთა (ვ. ლობტინი, ნ. ლელიაესკი, ე. ტიმონოვი, ნ. ყუჟოვსკი, მ. ველიკანოვი, მ. პოტაპოვი, ი. ლევი, ა. მილოვინი, ს. ალტუნინი, ვ. გონჩაროვი, ე. ზამარინი, ა. ლოსიევსკი, ფარგი, ეჩარდონი და სხვ.) შრომების განხილვის შედეგად ფართოდაა გაშუქებული კალაპოტშია ჰიდროტექნიკის საფუძვლები.

ეს ნაწილი უდავოდ რამდენადმე შეავსებს კრიტიკული სამიმოხილვო ლიტერატურის ნაკლებობას ჰიდროტექნიკის დარგში, რომელიც მეტად სწრაფი ტემპით ვითარდება ამ უკანასკნელი წლების პერიოდში.

ნაწილში გაშუქებულია ნაპირების გამაგრების აქტუალური პრობლემა, რომელსაც დიდი მნიშვნელობა აქვს ჩვენი სახალხო მეურნეობისათვის.

საკითხის ფართოდ დაყენება, მეცნიერების ამ დარგის თანმიმდევრული ანალიზი, არსებული თეორიისა და პრაქტიკის განზოგადება და ავტორის მიერ გაკეთებული დასკვნები კალაპოტშია ნაყადისა და ნაგებობის ურთიერთქმედების შესახებ, რომლებიც დამყარებულია თეორიულ, ლაბორატორიულ და საველე გამოკვლევებზე, მეტად საინტერესოს და სასარგებლოს ხდიან წარმოდგენილ ნაშრომს ისეთი მომწიფებული საკითხების გადაჭრაში, როგორცაა კალაპოტის რეგულირება და ნაპირების გარეცხვისაგან დაცვა ავტორის მონაწილეობით დამუშავებული ნაპირსაცავ ნაგებობათა ახალი კონსტრუქციები არარეცხვადი ფუძეებით გამოცდის წესით უკვე ხორციელდება რესპუბლიკის ზოგიერთი მდინარის ნაპირსაცავ უბანზე.

ამ თვალსაზრისით წარმოდგენილ მონოგრაფიას დიდი მეცნიერული და პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს და აუცილებლად საინტერესოა იმ ინჟინრების, ჰიდროტექნიკოსებისა და მეცნიერ-მუშაკთა ფართო წრისათვის, რომლებიც გამოკვლევებს აწარმოებენ კალაპოტშია პროცესების შესასწავლად.

გარდა ამისა, ამ ნაშრომით შეიძლება იხელმძღვანელონ მასწავლებლებმა, ასპირანტებმა და სტუდენტებმა, რომლებიც მუშაობენ ჰიდროტექნიკის ამ დარგში.

ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფ. ნ. დანელია

შენახვალი

წყლის ენერგია ყოველთვის ძვირფას წყაროს წარმოადგენდა ადამიანისათვის. ამიტომ ის უძველესი დროიდან დიდ ყურადღებას აქცევდა ამ ბუნებრივ ფაქტორს და საზოგადოების განვითარების ეტაპებზე მრავალგვარ ხერხს მიმართავდა მის გამოსაყენებლად თავის საჭიროებათა დასაკმაყოფილებლად.

პირველყოფილი ადამიანისათვის წყალი მხოლოდ მისი კვების შემადგენელი ნაწილი იყო; შემდეგ მან დაიწყო წყლის გამოყენება სამეურნეო საჭიროებისათვის, პრიმიტიული ტრანსპორტისათვის. თავისი განვითარების შემდგომ ეტაპზე ადამიანი ახერხებს წყლის გამოყენებას მინდვრების მორწყვა-გაწყლოვანებისათვის მარტივი ხერხებით.

ანიჭებდა რა მეტად დიდ მნიშვნელობას წყლის ფაქტორს, ხალხმა დასახლება დაიწყო მდინარეებისა და ტბების ნაპირებზე, რაც სხვა უპირატესობასთან ერთად მტრებისაგან თავიანებური თავდაცვისა და წყალსაცავი გზების განვითარების საშუალებას იძლეოდა.

ამრიგად, წყალი და მისი ენერგია თანდათან ხდება ეკონომიური განვითარების მთავარი წყარო.

ამასთანავე უნდა აღინიშნოს, რომ მდინარის ნაკადის ცვალებადი რეჟიმში საკმაო საზრუნავს უჩენდა ჩვენს წინაპრებს. წყალიდობის დროს მათ ხშირად უხდებოდათ სტიქიასთან ბრძოლის სხვადასხვა საშუალებების გამონახვა მარტივ ნაგებობათა აგების გზით. პირველ ხანებში ეს ნაგებობანი პრიმიტიული სახის იყო, მაგრამ გამოცდილების დაგროვებასთან ერთად თანდათან იქმნებოდა მათი ახალი, უფრო სრულყოფილი სახეები და ტიპები.

ბუნების ამ მოვლენასთან ბრძოლის საჭიროება საზოგადოების განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე მოითხოვდა დაცვის უფრო სრულყოფილი და რაციონალური მეთოდების გამოყენებას.

ჩვენ დრომდე მოღწეულ ძველ ნაგებობათა ნაშთები სანაპიროების კაშხლებისა და სხვათა სახით, აგრეთვე სამატიანო ჩანაწერები მათ შესახებ, ძველისძველი აღწერები და სხვა ლიტერატურული ძეგლები ნათლად მოწმობენ, რომ ადამიანები უძველესი დროიდან აწარმოებდნენ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობას; ეს დარგი თავდაპირველად სტიქიურად ვითარდებოდა, მაგრამ თანდათანობით იქმნებოდა ორიგინალ-

ლური ნაგებობანი, რომელთა კონსტრუქციულ გადაწყვეტას ხანდახან მეტად გაბედული ხასიათი ჰქონდა.

მატიანეში, რომელიც 1200 წელს ეხება, ნახსენებია ხუროთმოძღვარი პეტრე მილონეგი, რომელმაც სახელი გაითქვა ქვის კედლის აშენებით დნეპრის ნაპირზე ვილუბიცის მონასტერთან კიევში. XIII საუკუნის დოკუმენტებში მოხსენებულია ტბორების მშენებლობისა და ძალური დანადგარების—წყლის წისქვილების შესახებ, რომელთა მშენებლებს „წყლის კაცებს“ უწოდებდნენ.

XVIII საუკუნეში გამოცდილი მშენებლის კოშმა ფროლოვის მიერ მდ. ურალზე აშენებული იყო 18 მ სიმაღლის კაშხალი. აღსანიშნავია, რომ კაშხლის კონსტრუქცია მეტად ორიგინალური იყო; იგი მოწმობდა მშენებლის დიდ პრაქტიკულ ცოდნას ჰიდრავლიკისა და ჰიდროლოგიის დარგში [17].

შემონახულ ისტორიულ დოკუმენტებში მოხსენებულია, რომ რუსეთის სახელმწიფოს შექმნის დასაწყისში არსებობდა წყალსავალი გზა „გარიაგებიდან ბერძნებში“, რომელიც კვეთდა რუსეთის უზარმაზარ მატერიკს ჩრდილოეთიდან სამხრეთამდე, აერთებდა ბალტიის ზღვას შვედეთთან და მეტად დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა ევროპის სხვადასხვა სახელმწიფოსთან კავშირის დასამყარებლად.

საქართველოში აგრეთვე მრავლადაა შემონახული ცნობები და მატერიალური ძეგლები წყლის გამოყენების შესახებ.

ხელოვნური მორწყვის შესახებ პირველ ცნობებს ვხვდებით ჯერ კიდევ IV საუკუნის მასალებში. ამჟამად შემორჩენილია ძველი არხებისა და ნაგებობათა მრავალი ნაშთი, რომლებიც მოწმობენ ჩვენ წინაპართა დიდ დაინტერესებას ამ საქმით.

გამოჩენილი ქართველი მეცნიერის ვახუშტის ნაშრომში „აღწერა სამეფოსა საქართველოსა“ ქართლის მიდამოების შესახებ ნათქვამია: „შოლის პირიდან გაიტანა მეფემან ვახტანგ რუ, რამეთუ იყო მინდორი ესე უწყლო, და ჰყო წისქვილნი, და სმენ პირუტყვინი“.

XII საუკუნეში თამარ მეფის თაოსნობით გაყვანილი იყო 119 კმ სიგრძის ალაზნის სარწყავი არხი, რომელიც 53 ათას ჰექტარ ფართობს რწყავდა. ამ არხის ნაკვალევი ზოგიერთ უბანზე დღესაცაა შემონახული. მდ. ალაზნის მარცხენა ნაპირზეც ყოფილა გაყვანილი სარწყავი, რომელსაც გრემის არხი ერქვა. იგი წყალს მდ. ლოპოტიდან ღებულობდა. ეს არხი მეტად რთულ რელიეფურ პირობებში იყო გაყვანილი. იგი გამოყენებული იყო გრემის მინდვრების მოსარწყავად [15].

ქარელისა და მცხეთის რაიონებში ამჟამად არსებობს ხელოვნურად შექმნილი არხები „რუსხმულას“ სახელწოდებით. ეს არხები გაყვანილია სპეციალურად გაკეთებულ მაღალ მიწაყრილში, ამიტომ მას „რუსხმულა“

შეარქვეს, ე. ი. რუ-არხი ჩამოსხმული, ხელოვნურად ნაკეთები ყრილში. მცხეთის რაიონში, მუხრანის ველზე არსებული რუსხმულის სიგრძე 4 კილომეტრამდეა, ნაყარი მიწის სიმაღლე ზოგ ადგილას 7 მეტრამდე აღწევს.

საქართველოს მდინარეები — მტკვარი, რიონი, ინგური, ცხენისწყალი, და სხვ. უძველესი დროიდან იყო გამოყენებული ნაოსნობისა და ხე-ტყის დაცურებისათვის. მრავალი ძველი ძეგლი — ციხე, ეკლესია, მონასტერი, რომლებიც სტრატეგიული მოსაზრებებით მალლობებზეა გაშენებული, დაკავშირებული იყო მდინარეებთან მიწისქვეშა შესასვლელებით, გვირაბებით.

განვითარების გარკვეულ ეტაპზე საქირო შეიქმნა მდინარეთა ჰორიზონტების განსაზღვრა მათი რეჟიმის შესწავლის მიზნით.

დაახლოებით 4 ათასი წლის წინათ ეგვიპტეში არსებობდა ქვის წყობიდან გაკეთებული ქები, რომლებიც წყლის მიღების მიზნით გაღრმავებით იყო შეერთებული მდ. ნილოსის კალაპოტთან.

აღსანიშნავია, რომ ამ ქის კედლებზე დატანილი იყო ნიშნულები, რომელთა მეშვეობითაც აწარმოებდნენ ნილოსის ჰორიზონტის განსაზღვრას წლის სხვადასხვა პერიოდში.

დადგენილია, რომ ზერავშანის აუზში, აგრეთვე ხორეზში, მარგინაუში და სხვაგან ჩვენ წელთაღრიცხვამდე დიდი ხნით ადრე აშენებულ საირიგაციო სისტემებზე მოწყობილი იყო სხვადასხვა ტიპის წყლის საზომები.

ძველი მასალების საფუძველზე ცნობილია, რომ რუსეთის სახელმწიფოს შექმნამდე სლავიანები აწარმოებდნენ მდინარის დონეებზე დაკვირვებებს.

1405 წლის მკტიანეში მოყვანილია მასალები მდ. მოსკოვის წყლის რეჟიმის შესწავლის შესახებ.

ყველა ამ დაკვირვებებმა შექმნა საფუძველი ჰიდრაულიკისა და ჰიდროლოგიის განვითარებისათვის. ყველაზე დიდი გამოცდილება ამ საქმეში ალბათ უნდა დაგროვილიყო იმ პერიოდში, როდესაც წყალსადენის მშენებლობა წარმოართა ქალაქის წყლით მომარაგებისათვის. ამიტომ იყო, რომ სახელწოდება ჰიდრაულიკა, რომელიც ამ საკითხებს სწავლობდა, შეიქმნა ორი ბერძნული სიტყვის შეერთებით: წყალი (ჰიდორ) და მილი (აულოს), ე. ი. მოძღვრება წყლის მიღებზე.

ეს სახელწოდება მოწმობს იმას, რომ ჰიდრაულიკის ძირითად დანიშნულებას იმ დროისათვის მიღებში წყლის დინების შესწავლა წარმოადგენდა. ამჟამად ეს სახელწოდება, რასაკვირველია, არ გამოხატავს ამ სიტყვის ნამდვილ შინაარსს, რადგან ჰიდრაულიკის სფერო მნიშვნელოვნად გაიზარდა. მის საგანს მრავალი ახალი საკითხის შესწავლა დაემატა.

ყველაზე ადრინდელ ნაშრომს ჰიდრავლიკის შესახებ წარმოადგენს არქიმედის ტრაქტატი მცურავი სხეულების შესახებ, რომელიც ჩვენ წელთაღრიცხვამდე 250 წლის წინათ იყო დაწერილი. მასში ჩამოყალიბებული იყო ძირითადი თეორემა წყალში მცურავი სხეულების მდგრადობის შესახებ.

შემდგომი განვითარება ჰიდრავლიკის საკითხებმა აღონარდო და ვინჩის შრომებში კპოვეს; უფრო გვიან კი გალილეის, პასკალის, ნიუტონისა და სხვათა ნაშრომებში.

მდინარის ნაკადის გამოყენებასთან ერთად ადამიანი ცდილობდა შეესწავლა წყლის ენერჯის არსი, წყლის ნაკადის მოძრაობის კანონზომიერებანი. თავისი დაკვირვებებით მან დაადგინა პირველად ადვილად შესაცნობი კანონები. შემდეგში ადამიანის გონებრივი განვითარება შესაძლებელს ხდის ყველა მოვლენის არსის თანდათანობით უფრო ღრმა და სრულ შესწავლას, ცალკეულ პროცესებს შორის კავშირის დადგენას, თეორიის შექმნას.

ამ მოვლენათა შეცნობა, მათი ბუნების სირთულის გამო, დიდ დროს მოითხოვდა. ამიტომ იყო, რომ ინჟ. ნირკოვი თავის ნაშრომში „მდინარის ნაკადთა თეორია“, რომელიც დაწერილია სულ რაღაც 50 წლის წინათ, აღნიშნავდა: „...ყველა სამუშაოს წარმოების დროს, რომლებიც მიზნად ისახევენ მდინარის ნაკადის გამოყენებას ჩვენს სასარგებლოდ, ჩვენ თითქმის არაფერი ვიცით — რას წარმოადგენს თავისთავად მდინარის ნაკადი, რა თვისებები ახასიათებს მას და რა კანონების მიხედვით წარმოებს მისი წინსვლითი მოძრაობა. თამამად შეიძლება ითქვას, რომ აქამდე არ არსებობს არავითარი ჰიპოტეზა, არავითარი თეორია, რომელიც ახსნა-განმარტებას იძლეოდეს წყლის მოძრაობაზე მდინარეებში... რატომაა, რომ ზოგიერთი მდინარე ღრმად ჭრის კალაპოტს და მაღალ ნაპირებში მიედინება, სხვები კი, პირიქით, ძალიან ფართოდ იშლებიან და დინების დროს დიდ ხვეულებს წარმოქმნიან. ზოგიერთ შემთხვევაში ამ ხვეულებს სავსებით სწორ ადგილებშიც კი წესიერი წრისა და ელიფსის სახე აქვს“.

ამჟამად ბუნებრივ წყალდენებში წყლის ნაკადის მოძრაობის არსის შესწავლა თავისი განვითარების ისეთ ეტაპზეა, რომ შესაძლებელია მისი რეჟიმის შეცვლისა და გაუმჯობესების საკითხის გადაჭრა ადამიანის მოთხოვნილებათა დასაკმაყოფილებლად. შექმნილია საინჟინრო ხელოვნების სპეციალური დარგი — ჰიდროტექნიკა, რომლის დიდი მიღწევები დამყარებულია მეცნიერული თეორიისა და პრაქტიკის უმდიდრესი მასალების გამოყენებაზე. როგორც ცალკე მეცნიერება გამოიყო ჰიდროლოგია, რომელმაც სისტემაში მოიყვანა მეცნიერული მონაცემები ბუნებრივი წყალდენებისა და დედამიწის ზედაპირზე წყლის მოქმედების შესახებ.

ამის საფუძველზე წესადლებელი შეიქმნა წყლის ენერჯის უფრო სრული გამოყენება ენერჯეტიკის, ირიგაციის, სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო წყალმომარაგებისა და ნაოსნობის განვითარებისათვის.

აღამიანი დაეპატრონა წყლის ენერჯის უმდიდრეს რესურსებს. ის განაგებს ამ რესურსებს და იყენებს მათ ქვეყნის სახალხო მეურნეობის შემდგომი აღმავლობისათვის.

როდესაც ვლპარაკობთ ჰიდროტექნიკის მიღწევებზე, ეს ისე არ უნდა გავიგოთ თითქოს ამჟამად ყველაფერი გარკვეულია და მომავალში არაფერია გასაკეთებელი ამ დარგში. არის მთელი რიგი საკითხებისა, განსაკუთრებით ნაკადის, ბუნებრივი კალაპოტისა და ხელოვნურ ნაგებობათა ურთიერთქმედების სფეროში, რომლებიც მოითხოვენ უფრო ღრმა შესწავლას, რათა შესაძლებელი იქნეს ჩვენს წინაშე დასმულ სხვადასხვაგვარ ამოცანათა რაციონალური და ეკონომიური თვალსაზრისით მიზანშეწონილი გადაჭრა.

დიდი თეორიული შესწავლა და მრავალი პრაქტიკული გამოკვლევა დაგეგმირდება იმისათვის, რომ წყლის ნაკადის ყველა პროცესი, მათ შორის ნატანის რეჟიმიც, წარმოვიდგინოთ სრულყოფილი სახით, დაეკავშიროთ ეს პროცესები ერთიმეორესთან ზუსტი მათემატიკური გამოსახულებებით.

ამ ნაშრომში განხილულია ჰიდროტექნიკის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი დარგის — მდინარეთა რეგულირების საკითხები.

როგორც ცნობილია, წყლის ნაკადი ბუნებრივ წყალდენებში ხშირად იცვლის თავის მიმართულებას, რეცხავს ნაპირებს. წყალდიდობის დროს მდინარის დაბალი ნაპირები ვერ იტევენ გადიდებულ ხარჯს. კალაპოტიდან წყალი გადადის და ტბორავს სანაპირო დაბლობ ადგილებს. მძაფრი ნაკადი რეცხავს ნაპირებს, ანგრევს შენობებს, ლეკავს სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებს და დიდ ზიანს აყენებს მოსახლეობას.

სახალხო მეურნეობის, კერძოდ სოფლის მეურნეობის განვითარების დიდი ტემპები ჩვენს ქვეყანაში ჰიდროტექნიკოსების წინაშე აყენებს ამოცანას — გამონახულ იქნეს რაციონალური მეთოდები და ხერხები მდინარის ნაკადის მავნე მოქმედების თავიდან ასაცილებლად.

თუ წინათ აღამიანს არ ჰქონდა ცოდნა და შესაძლებლობა, თუ ის პრიმიტიული ხერხებით იბრძოდა სტიქიის წინააღმდეგ, ხანდახან კი უძლურობის გამო იძულებული იყო ბედის ანაბარა მიეტოვებინა დოვლათიანი ადგილები, ამჟამად მათი დაცვის საკითხი გადაუდებელ ამოცანას წარმოადგენს ჩვენი სპეციალისტებისათვის.

საბჭოთა მეცნიერებმა გამოიყენეს სამამულო ჰიდროტექნიკური სკოლის მდიდარი მემკვიდრეობა, შემოქმედებითად გაამდიდრეს და განავითარეს ის ჩვენი ქვეყნის გამოცდილებით, საფუძველად დაუდეს მას ბუნების

მოვლენათა შემეცნების მატერიალიტსური პრინციპი და შექმნეს საბჭოთა პიდროტექნიკა.

ჩვენი რესპუბლიკის პირობებში, სადაც ფართოდაა განვითარებული წყლის არტერიების ქსელი, მიწის ძვირფასი ნაკვეთების დაცვის საკითხი მეტად აქტუალურია. სახელმწიფო ყოველწლიურად დიდ ხარჯებს ეწევა როგორც მუდმივი, ისე დროებითი სახის ნაპირსამაგარ ღონისძიებათა განსახორციელებლად. იმის გამო, რომ დროებით ნაგებობებზე მნიშვნელოვანი სახსრები იხარჯება, შედეგები კი ნაკლებეფექტურია, ბუნებრივად, ისმება საკითხი ნაპირების კაპიტალურად გამაგრების მიზანშეწონილობის შესახებ უფრო მეტად რაციონალური ტიპის მუდმივი ნაგებობებით.

ბევრი გაკეთდა ამ დარგში ჩვენს ქვეყანაში საბჭოთა ხელისუფლების დამყარების შემდეგ. მრავალი მეთოდი და ხერხია გამომუშავებული ჩვენი სპეციალისტების მიერ. აგებულია შესანიშნავი საინჟინრო ნაგებობანი, შექმნილია უახლესი კონსტრუქციები. მაგრამ მზარდი ამოცანები მდინარეთა რეგულირების დარგში მოითხოვენ სულ უფრო და უფრო რაციონალური ტიპის კონსტრუქციების გამონახვას.

წინამდებარე ნაშრომის მიზანია მდინარეთა რეგულირების კონკრეტული ამოცანების განხილვა ამ მეცნიერების ისტორიული განვითარების ფონზე. მანამდე კი საჭიროდ მიგვაჩნია მოვიყვანოთ მდინარეთა საერთო დახასიათება ამ დარგში არსებული მასალების საფუძველზე.

I. მდინარეთა საერთო დახასიათება და მათი კალაპოტის ფორმირების პირობები

1. ზოგადი მიმოხილვა

დედამიწის ზედაპირზე მოსული ატმოსფერული ნალექები გროვდება დადაბლებულ ადგილებში და იქიდან ქანობის გაყოლებით მიედინება ჭერ მცირე ნაკადულების სახით, შემდეგ კი ერთდება და წარმოქმნის მდინარეს.

ყველა ასეთი ნაკადის გზა გადის ზედაპირის ჩაღრმავებულ ადგილებში, რომელთაც ხეობები ეწოდებათ, და უმთავრესად კლაკნოილი ხასიათისაა; ხეობების ეს რიგი, რომელიც ჩამონადენის საერთო მიმართულებით ხასიათდება, წარმოქმნის წყალშემკრებ აუზს, რომელიც კვებავს ერთ მდინარეულ სისტემას; ეს უქანასკნელი კი შეიცავს მთავარ მდინარეს და პირველი და შემდგომი რიგის შენაკადების წყებას (ნახ. 1).

მდინარეები მათი წყალშემკრები აუზის მიხედვით შეიძლება იყოს მცირე, საშუალო და დიდი.

1-ლ ცხრილში მოცემულია დედამიწის უდიდესი მდინარეების ძირითადი მაჩვენებლები.



ნახ. 1. მდინარეული სისტემა.
 1 — მთავარი მდინარე; 2, 3 — მეორე და შემდგომი რიგის შენაკადები.

ცხრილი 1

მდინარეები	წყალშემ- კრების ფართობი, ათასი კმ ²	მდინარის სიგრძე, კმ	საშუალო წლიური ხარჯი, მ ³ /წმ	საშუალო წლიური ჩამონადენი კმ ³
1	2	3	4	5
სსრკაეშირის მდინარეები				
ენისეი	2600	4000	17400	548
ლენა	2425	4270	15500	488
ობი	2930	3680	12500	394
ამური	1843	2850	11000	350
ვულგა	1380	3690	8130	256
დნეპრი	503	2280	1670	52
საზღვარგარეთის ქვეყნების მდინარეები				
ამაზონი (სამხრ. ამერიკა)	7000	5500	120000	3787
კონგო (აფრიკა)	3690	4320	40000	1260
განგი და ბრამაპუტრა (აზია)	2000	2900	30000	960
იან-ცი-ძიანი (აზია)	1940	5200	22000	690
მისისიპი (ჩრდ. ამერიკა)	3220	7330	19000	600
ზამბეზი (აფრიკა)	1330	2660	16000	500
პარანა (სამხრ. ამერიკა)	4250	4380	14880	469
მაკენზი (ჩრდ. ამერიკა)	1760	1700	14000	440
ირავადი (აზია)	430	2150	13000	428
ნიგერი (აფრიკა)	2090	4160	12000	379
დუნაი (ევროპა)	817	2850	6430	203
ინდი (აზია)	960	3180	4600	145
წმ. ლავრენტის (ჩრდ. ამერიკა)	1248	3380	4400	139
ნილოსი (აფრიკა)	2870	6500	2290	70

მოყვანილი მონაცემები ცხადყოფენ, რომ სიგრძე არ წარმოადგენს მდინარის სიმძლავრის გამომსახველ ძირითად ელემენტს, ვინაიდან მსოფლიოში ყველაზე დად მდინარეს — ამჰონს სიგრძის მიხედვით მესამე ადგილი უჭირავს.

საქართველოს ტერიტორიაზე მრავალი მდინარეა, რომელთა წყალშემკრები აუზების ფართობი გაცილებით უფრო მცირეა, ვიდრე ზემოჩამოთვლილი მდინარეებისა, მაგრამ რესპუბლიკის მთიანი რელიეფი განაპირობებს თხიერი ჩამონადენის რთულ რეჟიმს, რომელიც საჭიროდ ხდის მის რეგულირებას სერიოზული ჰიდროტექნიკური ნაგებობებით.

მე-2 ცხრილში მოცემულია დასავლეთ საქართველოს მდინარეების ზოგიერთი ძირითადი ელემენტი.

ც ხ რ ი ლ ი 2

№ რიგზე	მდინარის დასახელება	წყალშემკრების საერთო ფართობი, კმ	მდინარის სიგრძე, კმ	შენაკადების სიგრძე		
				10 კმ-ზე მეტი	10 კმ-ზე ნაკლები	საერთო სიგრძე
1	რიონი	13487	321	1261	3434	4695
2	ინგურის	4060	213	518	1396	1914
3	ხობის	1344	142	438	1452	1890
4	ქლორის	2027	80	352	1727	2079
5	ბზიბის	1510	110	185	981	1166
6	ფსოლ	422	55	35	320	355
7	ქელასურის	220	42	—	96	96

მდინარეები დამახასიათებელი ქანობების მიხედვით იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად: ბარის (ვაკის) მდინარეები წყნარი დინებით; მთის მდინარეები მძაფრი დინებით.

იმ მდინარეებს, რომლებსაც შუალედური ადგილი უჭირავს, მთისძირა მდინარეები ეწოდება.

მთის მდინარეების ძირითადი თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ მათ აქვთ ციცაბო ფერდობები, შედარებით მცირე განი და დიდი სიღრმე; მდინარის ქანობი მკვეთრად იცვლება სიგრძეზე.

ხეობის ძლიერი დაქანების გამო ჩამონადენი ავითარებს დიდ სიჩქარეს, წყლის გადაადგილების დრო მცირეა, ტალღები მოძრაობენ სწრაფად, მკვეთრი აწევითა და ვარდნით. წყლის ჰორიზონტების ცვლილების გრაფიკში მრავლადაა მაღალი პიკები და აგრეთვე დიდია სიჩქარეებისა (გრძივი მიმართულებით) და ხარჭების ცვლილების ამპლიტუდა.

გრძივი პროფილის მკვეთრ ტეხილებს შეესაბამება მდინარის მკვეთრი მოხაზულობა გეგმაში. დიდსიჩქარიანი ნაკადი ერთი ნაპირიდან ასკდებო

მეორეს და წარმოშობს დინამიკური ღერძის ტეხილებს. ამის გამო სიჩქარეების განაწილება როგორც გრძივი, ისე განივი მიმართულებით არათანაბარია. მდინარის ფსკერი ჩვეულებრივ მოფენილია წყალდიდობის დროს ნაკადის მიერ მოტანილი ქვებით, რაც ადიდებს კალაპოტის ხაოიანობას და იწვევს წყლის ტალღისებურ მოძრაობას.

ბარის მდინარეებს კი ახასიათებს წყნარი დინება, კალაპოტის დაკლაკნილობა, ნატანის სიუხვე და ნაპირების მეტო რეცხვადობა.

ბევრ მდინარეს თავისი დინების სხვადასხვა უბანზე სხვადასხვანაირი ხასიათი აქვს. როგორც წესი, ხშირ შემთხვევაში მდინარე მთიური ხასიათისაა ზემო წელში; ქვემო წელში კი ის მდოვრედ და წყნარად მიედინება. მაგრამ არის შემთხვევები, როდესაც მდინარე სათავიდან შესართავამდე ინარჩუნებს მთიურ ხასიათს (მაგალითად, აფხაზეთის მდინარეები).

მდ. რიონი, რომელიც საწყის ნაწილში მთის მდინარედ ითვლება, თავის ქვემო წელში, სადგურ რიონიდან შესართავამდე, ბარის მდინარეს წარმოადგენს.

ასევე ენისეი ზემო წელში მთის მდინარეა, საიანიდან გამოსვლის შემდეგ კი მთისძირა მდინარის ხასიათს ლებულობს.

მდინარეები შეიძლება იკვებებოდნენ: 1) წვიმის წყლით, 2) თოვლით, 3) მყინვართა და 4) შერეული ჩამონადენით.

ამის მიხედვით ისინი სამ მთავარ ჯგუფად იყოფიან:

1. მდინარეები, რომელთა კვების წყაროს გამდნარი თოვლი (ყინული) წარმოადგენს;

2. მდინარეები, რომლებიც მხოლოდ წვიმის წყლით იკვებებიან;

3. მდინარეები, რომლებიც იკვებებიან როგორც გამდნარი თოვლით (ყინულით), ასევე წვიმის წყლით.

პირველი ჯგუფის მდინარეებს, რომლებიც მყინვარებისა და თოვლის დნობით იკვებებიან, ეკუთვნიან ამუ-დარია, სირ-დარია და შუა აზიის სხვა მდინარეები. ამ ჯგუფის მდინარეებში წყლის ჰორიზონტის მაქსიმალური დონეები (წყალდიდობის პერიოდი) აღინიშნება ზაფხულში, რადგან ამ დროს იწყება თოვლისა და ყინულის დნობა მაღალი ტემპერატურის შედეგად [4].

მეორე ჯგუფის მდინარეებს ეკუთვნიან დასავლეთ ევროპის მდინარეები: სენა, სონა, მაინი, ნეკარი და სხვა. ამ მდინარეებში წყლის მაქსიმალური დონეები აპრილ-მაისის თვეშია. ამავე ჯგუფს მიეკუთვნებიან სუბტროპიკული მხარეების — ესპანეთის, იტალიის, ნაწილობრივ ყირიმის მდინარეები. მათ ხმელთაშუა ზღვის ტიპის მდინარეები ეწოდება. ამ ტიპის მდინარეებისათვის დამახასიათებელია წყალდიდობა ზამთრის თვეებში, რადგან ყველაზე მეტი ნალექები ამ დროსაა. აღსანიშნავია, რომ სამხრეთ იტალიის, სიცილიის ზოგიერთი მდინარე ზაფხულის პერიოდში

ძთლიანად შრება, ზამთარში კი წყალდიდობის შედეგად ბობოქარი ხდება. ამავე ჭგუფს მიეკუთვნებიან ნილოსი, ამაზონი, კონგო და სხვები. რომლებიც ტროპიკული ხასიათის მდინარეებია. ისინი მუსონების მიერ წამოტაცებული წვიმის წყლით იკვებებიან.

მესამე ჭგუფს ეკუთვნის სსრ კავშირის ევროპული ნაწილის მდინარეთა უმრავლესობა, აგრეთვე ციმბირის მხარის, გერმანიის აღმოსავლეთი ნაწილის, ამერიკის მდინარეები.

ჩვენი რესპუბლიკის მდინარეები ძირითადად კვების III ჭგუფს ეკუთვნიან, ამიტომ მათში ადგილი აქვს წყლის ხარჯების მკვეთრ რყევას, რომელიც დაკავშირებულია ჰაერის ტემპერატურის ცვლილებასთან და ნალექების (წვიმის სახით) ინტენსიურობასთან.

მთიური ხასიათის მქონე მდინარეებისათვის ჩამონადენის წლიური ციკლი შეიძლება გავყოთ სამ ძირითად პერიოდად: პირველი — საშუალო დონის პერიოდი, როდესაც მდინარის კვება წარმოებს მიწისქვეშა წყლებით და ხარჯები თანდათან მცირდება; მეორე — წყლის ადიდების პერიოდი, როდესაც სიციხეების გამო ძირითად წყალშემკრებ აუზში თოვლი დნობას იწყებს; მესამე — თოვლ-ყინულოვანი კვების პერიოდი, რაც უმთავრესად მაღალმთიური თოვლისა და ყინულის დნობის ხარჯზე მიმდინარეობს. გაზაფხულისა და შემოდგომის წვიმები პიკს წარმოშობენ და ემატებიან წყალდიდობას.

მდინარეების შიგაწლიური ჩამონადენის განაწილებაზე ასე ვრცლად იმიტომ შევჩერდით, რომ მას მეტად დიდი მნიშვნელობა აქვს კალაპოტში გაბრუნების შესწავლისათვის და, მაშასადამე, მარეგულირებელ ნაგებობათა სწორად დაგეგმარებისათვის.

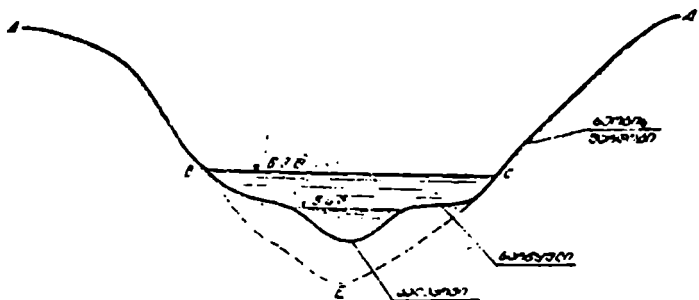
ცნობილია, რომ ხანმოკლე წყალდიდობის დროს მთის მდინარეს მოაქვს ნარიყის დიდი რაოდენობა, უფრო ინტენსიურია კალაპოტის ფორმირების პროცესი და ამის გამო ნაგებობანი განიცდიან ბევრად უფრო შეყურსულ და უეცარ ზემოქმედებას; ვიდრე წყალდიდობის დროს ბარის მდინარეებზე. ჰიდროტექნიკურ ღონისძიებათა სწორი განხორციელება შესაძლებელი იქნება მხოლოდ კალაპოტში გაბრუნებისა და ჰიდრაულიკური ელემენტების მთელი კომპლექსის საფუძვლიანი შესწავლის შედეგად.

2. მდინარის კალაპოტი

მდინარის კალაპოტის ფორმირებაზე კლიმატისა და ჩამონადენის ხასიათის გარდა დიდ გავლენას ახდენს ხეობის რელიეფი და მასი გეოლოგიური აღნაგობა. ამის გამო მდინარის გამოკვლევას თან უნდა სდევდეს მდინარის ხეობის შესწავლა, განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში, თუ განზრ-

ხულია რაიმე ჰიდროტექნიკური ნაგებობის აგება. მდინარის ხეობის სახასიათო განივი კრილი მე-2 ნახაზზე მოცემული სახე აქვს.

ხეობა შემოსაზღვრულია AB და CD ფერღობებით; მისი ქვედა ნაწილი (E) წარმოადგენს ხეობის ძირს, რომელიც ამოვსებულია ალუვიონით. სადაც მდინარე დინების პროცესში ამუშავებს თავის კალაპოტს. კალაპოტის იმ ქვედა ნაწილს, რომელშიც ჩამონადენი განუწყვეტლივ მოძრა-



ნახ. 2. მდინარის სახასიათო განივი კრილი.

წმდ — წყლის მაქსიმალური დონე; წსდ — წყლის საშუალო დონე.

ობს მთელი წლის განმავლობაში, საშუალო დონის კალაპოტი ეწოდება. კალაპოტის ზედა ნაწილს, რომელიც პერიოდულად იფარება წყლით გადიდებული ხარჯების დროს, ნარწყული ან ნარწყულის ტერასა ეწოდება. მდინარეს, ჩვეულებრივ, რამდენიმე ტერასა აქვს, რომელთა ნუმერაცია ქვევიდან იწყება.

დიდი წყალდენების — მდინარეების კალაპოტის სიგანე ათეული და ასეული მეტრიდან რამდენიმე კილომეტრამდე აღწევს (ობი, ვოლგა, ენისეი და სხვ.). მდინარის სიმძლავრის გადიდების დროს იზრდება მისი სიგანე და სიღრმე. მაგრამ ამასთანავე უნდა ითქვას, რომ სიღრმის ზრდა უფრო ნელა მიმდინარეობს, ვიდრე სიგანისა, დაახლოებით შემდეგი კანონის მიხედვით:

$$h = A\sqrt{b}, \quad (1)$$

სადაც b სიგანეა;

h — სიღრმე;

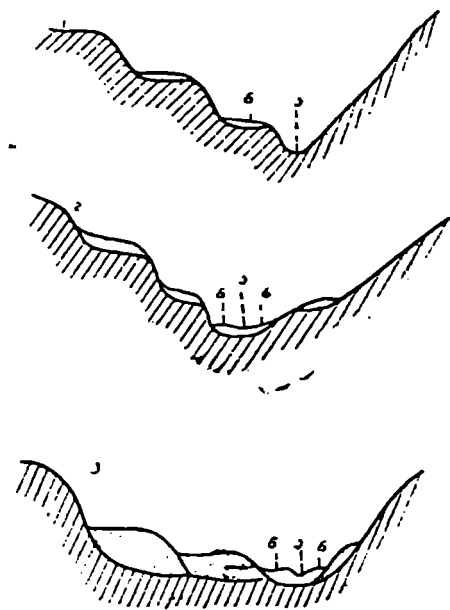
A — მუდმივი სიდიდე, რომელიც დამოკიდებულია კალაპოტის შემდგენელი ნაწილაკების ზომისაგან.

მდინარის კალაპოტის ფორმირებაზე გავლენას ახდენენ შემდეგი ფაქტორები: კლიმატი (თხიერი ჩამონადენის კვება), რელიეფი და გეოლოგიური აღნაგობა.

მდინარის კალაპოტის ერთ-ერთი ელემენტია მდინარის კალაპოტის ტერასები.

მდინარის ტერასები ძირითადად სამი ტიპისაა (ნახ. 3), რომელთა მოკლე დახასიათება მოყვანილია ქვემოთ.

ა) აკუმულაციური ტერასები წარმოიქმნება მდინარის ნაკადის მიერ სათავედან ჩამორეცხილი მასალის დალექვის შედეგად შუა და ქვემო წელში. გვერდითი ეროზიის გავლენით ნაკადი ხან ერთ მხარეს გადაადგილდება, ხან მეორე და იკავებს ხეობის ძირის მეტ ნაწილს. რაც



ნახ. 3. მდინარის ტერასების ნაირსახეობა.

- 1 — ეროზიული; 2 — ეროზიულ-აკუმულაციური; 3 — აკუმულაციური;
 4 — ნარწყული, კ — კალაპოტი.

უფრო უკან იხევს ეროზია ზევით დინების წინააღმდეგ და რაც უფრო დამრეცი ხდება მდინარის გრძივი პროფილის ზედა ნაწილი, მდინარის სათავედან ჩამორეცხილი მასალის მოტანა მით უფრო მცირდება. ამის გამო მდინარის გამრეცხუნარიანობა მატულობს, იგი იწყებს თანდათან შეკრას საკუთარ ალუვიონში და მისი ნარიყის ზედა სიბრტყე თანდათან იქცევა ტერასად, რომლის სიმაღლე მცირდება ქვევიდან ზევით დინების წინააღმდეგ;

ბ) ეროზიული ტერასები წარმოიქმნება მდინარის ნაკადის ძირითად ქანებზე უშუალო ზემოქმედებით (შედარებით იშვიათი ტიპი);

გ) შერეული ტერასები, რომელთა ქვედა ნაწილი ძირითად ქანებს წარმოადგენენ, ზედა კი ალუვიონს, გვხვდება ძალიან ხშირად, უმთავრესად მთიან რაიონებში.

მთის იმ მდინარეებში, რომლებიც ვიწრო ხეობებში მიედინებიან, ტერასებს ზოგჯერ სრულიად ვერ ვხვდებით.

პირველი ტიპი განსაკუთრებით საინტერესოა იმ მხრივ, რომ ძირითადად ასეთ უბნებზეა საკირო ნაპირსამაგრ ღონისძიებათა ჩატარება.

ალუვიონში გამავალ მდინარეს, როგორც წესი, დაკლაკნილი ფორმა აქვს. ამის მიზეზია წყლის ნაკადში წარმოშობილი ცირკულაციური დინება და მდინარის კალაპოტის უმდგრადობა. დადგენილია, რომ ასეთი მდინარისათვის სწორედ დაკლაკნილი ფორმაა საკირო წონასწორობის შესაძარჩუნებლად მისი ბუნებრივი რეჟიმის დროს.

ა. მდინარის შესართავები

მდინარე ერთვის მეორე მდინარეს ან ვარდება ზღვაში ან ტბაში. მდინარის ამ ბოლო ნაწილს ეწოდება შესართავი. ზოგიერთ მდინარეებს, რომლებიც ტროპიკული რაიონების უდაბნოს ტერიტორიაზე გადიან, შესართავი სულ არა აქვთ; ისინი ქვიშებში იკარგებიან დიდი აორთქლებისა და ფილტრაციის გამო, რომელსაც ემატება წყლის ხარჯვა ფართობების მოსარწყავად. ასეთი მდინარეებია: კუმა, მურგაბი, ზერავშანი და სხვა.

მდინარის შესართავი ორი ძირითადი სახისაა: ესტუარი და დელტა.

ესტუარის ტიპის შესართავს უბინ სახე აქვს. ამ შემთხვევაში მდინარის ბოლო ნაწილი ზღვის მიერ შეტბორილია, მისი კალაპოტი მთლიანად წყლითაა დაფარული. ეს იმითმ ხდება, რომ მდინარის მიერ მოტანილი ნატანი შესართავში არ ილექება. იგი ირეცხება ზღვის ტალღების მიმოქცევის გამო და ზღვა მიიწევს თანდათან მდინარის ხეობისაკენ. ამ სახის შესართავი აქვს, მაგალითად, ელბას, სენას, ინგლისის მდინარეებს და სხვა.

მეორე სახის შესართავის (დელტა) სახელწოდება წარმოშობილია ბერძნული ასო Δ-საგან, რადგან მდინარის ბოლო ნაწილის განტოტებას ამ ასოს სახე აქვს; ამ სახის შესართავი წარმოიშევა მაშინ, როდესაც მდინარეს გამოაქვს დიდი რაოდენობის ნატანი და ზღვის ტალღების სუსტი მიმოქცევა ვერ რეცხავს მას. პირიქით, მდინარის გამონატანი თანდათან იჭრება ზღვის სიღრმეში და იკავებს მისი ტერიტორიის ნაწილს; მდინარის მიერ მოპოვებული ფართობი განუწყვეტლივ იზრდება. ასე, მაგალითად, მდ. პოს დელტა ყოველწლიურად 70—80 მ-ით მოიწეკვ წინ, დუნაის 55 — 77 მ-ით, რონის — 50 მ-მდე, ვოლგის — 90 მ-მდე.

უძველესი პორტი ადრია, რომელიც ერთ დროს ადრიატიკის ზღვის ნაპირას იმყოფებოდა, მდ. პოს დელტის წინ წაწევის გამო ამჟამად 35 კმ-ითაა დაცილებული ზღვიდან.

დელტის ზონაში დანალექი ნატანის ფენა მნიშვნელოვანი სიდიდისაა. მაგალითად, მდ. მისისიპიში ამ ფენის სისქე 160 მ-ზე მეტია, მდ. ნილოსში — 150 მ, მდ. პოში — 122 მ და ა. შ. მნიშვნელოვანი სიდიდისაა აგრეთვე მდინარის დელტის მიერ დაკავებული ფართობი.

მე-3 ცხრილში მოყვანილია ზოგიერთი მდინარის დელტის მიერ დაკავებული ფართობი [4].

ც ხ რ ი ლ ი 3

მდინარეთა დასახელება	დელტის ფართობი, კმ ²	სიგრძე, კმ	სიგანე, კმ
გ ა ნ გ ი და ბ რ ა მ ა ვ ა უ ტ რ ა .	82544	354	322
მ ი ს ი ს ი პ ი	31859	320	300
ნ ი ლ ო ს ი	22194	171	208
ვ ო ლ გ ა	13370	110	240
დ უ ნ ა ი	2588	74	74

მდინარის დელტა სხვადასხვა ტიპისაა და იგი შემდეგ ჯგუფებად შეიძლება დაიყოს.

პირველი ჯგუფი, რომელსაც მიეკუთვნება ისეთი შესართავი, სადაც მდინარის მთავარი კალაპოტი გამოყოფილია. ამ შემთხვევაში ეს მთავარი კალაპოტი დაახლოებით დელტის შუაშია ან ცალ მხარეზეა მოთავსებული. პირველი ტიპის დელტები (როცა კალაპოტი დელტის შუა ნაწილშია) აქვს მდ. მდ. ინდს და მისისიპს, მეორე ტიპის კი მდ. მდ. განგს, ნეგს, ორინოკოს.

მეორე ჯგუფი, რომელსაც მიეკუთვნება ისეთი შესართავი, სადაც მთავარი კალაპოტის გამოყოფა არ შეიძლება; მდინარის ბოლო ნაწილის ყველა ტოტი დაახლოებით ერთნაირი სიდიდისაა. ამ ტიპის დელტები აქვთ დუნაის, რონას, ამუ-დარიას. ხანდახან ამ ტოტების განლაგება სიმეტრიულია (ნილოსი, ვოლგა).

მესამე ჯგუფს ეკუთვნის ისეთი დელტები, სადაც ტოტების ქსელი ერთიმეორეშია არეული, შეუძლებელი ხდება მთავარი ან მნიშვნელოვანი კალაპოტის გამოყოფა.

როდესაც მდინარე ვარდება სხვა მდინარეში, ადგილი აქვს ამ ორი ნაკადის ურთიერთქმედების რთულ პროცესს, რომელსაც ღინებინ სიჩქარე და მიმართულება განსაზღვრავს.

ხშირად გვხვდება ისეთი შემთხვევები, როდესაც ძირითად მდინარეს და მის შენაკადს ერთნაირი ქანობი აქვს. მაგრამ არის შემთხვევები, განსაკუთრებით მთის მდინარეებში, როდესაც შენაკადს გაცილებით მეტი ქანობი აქვს, ვიდრე ძირითად მდინარეს. მაშინ შენაკადის დიდი ცოცხალი ძალა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ძირითადი მდინარის კალაპოტზე — სიჩქარეთა განაწილებაზე და ნაპირის ფორმაზე. შენაკადის მიერ გა-

მოტანილი ნატანი ილექება შესართავის ქვემოთ, ავიწროვებს ძირითადი მდინარის ნაკადს და იწვევს კალაპოტში სიღრმეების სპეციფიკურ გადანაწილებას.

თუ ძირითადი მდინარე და შენაკადი ადვილად რეცხვად კალაპოტში მიედინებიან, მაშინ მათი ურთიერთქმედების შედეგად დინების მიმართულებებს შორის კუთხე მცირდება და ამ ორი მდინარის შეერთება თანდათან მდოვრე მრუდის (плавная кривая) სახით წარმოებს [5].

4. კალაპოტის ნაკადი და კალაპოტშია პროცესები

ტერმინი კალაპოტის ნაკადი აერთიანებს ყველა ნაკადს, მიუხედავად მათი ზომისა და წარმოშობისა, რომლებიც მიედინებიან ცოტად თუ ბევრად მოძრავ გრუნტებში და დამოუკიდებლად ჰქმნიან თავის კალაპოტს. კალაპოტის ნაკადის ცნება იმით განსხვავდება მდინარის ცნებიანაგან, რომ პირველი წარმოადგენს ფიზიკურ ცნებას, მეორე კი — გეოგრაფიულს.

მდინარეების შესწავლა წარმოებს მათ გარშემო არსებულ და მათ განმაპირობებელ გარემოსთან დაკავშირებით: კლიმატის, რელიეფის, გეოლოგიური აღნაგობის და მცენარეული საფარის მიხედვით. ყველა ეს ფიზიკურ-გეოგრაფიული ფაქტორი ერთმანეთთან მჭიდროდაა დაკავშირებული და გავლენას ახდენს ერთიმეორეზე. მდინარის ნაკადის შესწავლის დროს განიხილება მისი დინამიკა-სიჩქარეთა ველის სტრუქტურა, ნატანის მოძრაობა, კალაპოტის ფორმის შეცვლა და სხვა.

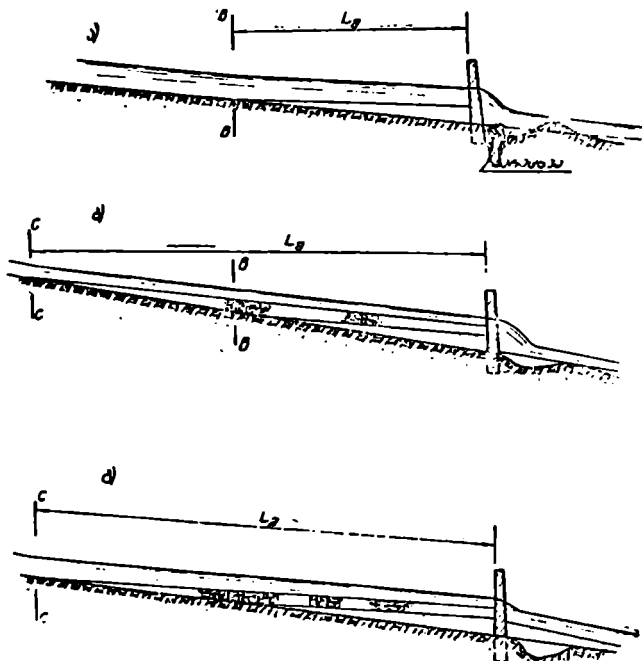
კალაპოტშია პროცესები ეწოდება იმ პროცესების ერთობლიობას, რომლებიც განაპირობებენ წყლის ნაკადისა და კალაპოტის ურთიერთქმედებას. რეცხვად გრუნტებში მიმდინარე წყალი თავისი ჰავლებით უშუალოდ მოქმედებს ფსკერის მყარ ნაწილაკებზე — ნარიყზე. თუ კალაპოტის ნაკადის დინების სიჩქარე მცირეა, მაშინ მყარი ნაწილაკები არ მოძრაობენ. სიჩქარის გადიდებისას ხდება ნაწილაკების გადაადგილება ფსკერზე ან ნაკადი აიტაცებს მათ და გადააქვს ატივტივებულ მდგომარეობაში.

მსხვილი ნარიყის გადაადგილება ხდება უმთავრესად დიდი სიჩქარეების დროს, წვრილი ნაწილაკები კი მოძრაობენ ნაკადის მცირე სიჩქარის დროსაც კი. ნაკადის უნარი კალაპოტში ნატანის გადაადგილებას, კალაპოტის გარეცხვისა და დარიყვის განუწყვეტლივ იცვლება მდინარის თხიერი და მყარი ხარჯის, კალაპოტის რელიეფისა და მორფოლოგიური შემადგენლობის მიხედვით.

ნაკადის ზემოქმედებას კალაპოტზე უპირისპირდება კალაპოტის ზემოქმედება ნაკადზე. ამრიგად, ნაკადი იწვევს კალაპოტის დეფორმაციას, შეცვლილი კალაპოტი კი თავის მხრივ გარდაქმნის ნაკადის სიჩქარეთა ველს. ბუნებრივი კალაპოტშია პროცესი წარმოებს ათასწლობით (მდინა-

რის წარმოქმნის მომენტიდან) და შედარებით მდგრად ფორმამდე მიჰყავს მდინარის კალაპოტი, რომელიც შემდგომ განიცდის ზოგიერთ ცვლილებას ხარჯების მერყეობასთან დაკავშირებით.

შეიძლება კალაპოტშიგა პროცესის ხელოვნურად გამოწვევა, როდესაც მდინარეზე აგებენ გრძივ ნაგებობებს, რომლებიც ახალ არარეცხვად



ნახ. 4. მდინარის კალაპოტის ფორმირება წყალშემტბორი კაშხლის შემთხვევაში.

ა) პირველი პერიოდი; ბ) მეორე პერიოდი; გ) მესამე პერიოდი.

საზღვრებს ქმნიან ნაკადისათვის ნაპირების გაყოლებით ან როდესაც კალაპოტში შენდება ზღუდეები წყალშემტბორი კაშხლების სახით. მაშინ პილროტექნიკურ ნაგებობათა მიერ შექმნილი შეტბორვა, იმის მიხედვით თუ როგორია ხარჯების რეჟიმი და მდინარის მიერ მოტანილი ნარჩენთა რაოდენობრივ-ფრაქციული შემადგენლობა, იწვევს თავისებურ კალაპოტშიგა პროცესს. მრავალი ნატურული და ლაბორატორიული გამოკვლევის შედეგად შესწავლილია კალაპოტის ზედა ბიეფის მორიყვისა და ქვედა ბიეფის გარეცხვის პროცესი, რომლის სრული ციკლი მიმდინარეობს სამ პერიოდად (ნახ. 4):

პირველი პერიოდი, როდესაც ნაგებობა ექსპლოატაციაში შედის. მაშინ იწყება ზედა ბიეფის დაღეჟვა ატივტივებული და ფსკერული ნატანით, ქვედა ბიეფში კი მიმდინარეობს გარეცხვა.

მეორე პერიოდი — გრძელდება ზედა ბიეფის მორიყვა ფსკერული ნატანით, ატივტივებული ნატანი კი ძირითადად გადადის ქვედა ბიეფში. ამის შედეგად წყდება გარეცხვა ქვედა ბიეფში და იწყება პირვანდელი რეჟიმის აღდგენის პროცესი.

მესამე პერიოდი — მთავრდება ზედა ბიეფის მორიყვა ფსკერული ნატანით და იწყება ფსკერული ნატანის გადაადგილება ქვედა ბიეფში. მესამე პერიოდის დასასრულს ხდება ზედა და ქვედა ბიეფის ფორმირების დამთავრება და ნაკადის პირვანდელი გადატანრიანობის აღდგენა.

კალაპოტის ფორმირების ძირითად ფაქტორს წარმოადგენს ბუნებრივი ნაკადი, რომელსაც კალაპოტის გრუნტის გარეცხვის, გამორეცხილი ნაწილაკების გადატანისა და დარიყვის უნარი აქვს. ამაშია ძირითადი განსხვავება მდინარეებსა და ხელოვნურ არხებს შორის, სადაც დაუშვებელია გამრეცხი სიჩქარეები და ნაკადს გადააქვს მხოლოდ წყლის მიერ მოტანილი ატივტივებული ნალექი. ასეთ პირობებში არხი ინარჩუნებს თავის ფორმას. თუ ზემოაღნიშნული პირობები დაცული არ იქნება, დაიწყება არხის კვეთის ფორმის შეცვლა-გარეცხვა, დახრამვა, ან პირიქით, ნაკადი დაიყოფა ტოტებად, დაიწყებს მიმართულების შეცვლას გეგმაში და ნაპირების გარეცხვას სიგანეში.

მდინარეებს, რომელთა ჩამონადენი რეგულირებულია ხელოვნური ან ბუნებრივი წყალსაცავით, ახასიათებს კალაპოტის უფრო მშვიდი რეჟიმი და მეტი მდგრადობა.

მდინარის ნაკადისა და კალაპოტის ხანგრძლივი ურთიერთქმედების შედეგად ეს უკანასკნელი ღებულობს დამახასიათებელ ფორმას — სიგანეს, სიგრძელს, სიღრმეს, რაც დაკავშირებულია მდინარის ჰიდრაულიკურ ელემენტებთან — ხარჯთან, სიჩქარესთან, ქანობთან, ტურბულენტობასთან და ნაკადის წამტაც ძალასთან. მაგრამ კალაპოტის ფორმირების პროცესი არასოდეს არ შეიძლება იყოს წონასწორობის მდგომარეობაში, რადიან როგორც ჩამონადენი, ისე ნატანი სეზონურ და მრავალწლიურ ცვლილებას განიცდის.

კალაპოტშივა პროცესები წყალუხვობის პერიოდში გაცილებით უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს, ვიდრე წყალმცირობის. მაშზე დიდ გავლენას ახდენს ფსკერული ნატანის ზეედრითი შემცველობა. მდინარის ნაკადი, რომელიც ძლიერაა გაჭერებული ნატანით, უფრო მეტ დეფორმაციებს იწვევს კალაპოტში.

მდინარეთა მთიან და მთისწინა უბნებზე კენჭოვანი და ხრეშოვანი ფსკერული ნატანის მოძრაობა წარმოებს წყალდიდობის დროს. საშუალო დონის დროს ადგილი აქვს მხოლოდ წვრილი ქვიშოვანი ნატანის გადაადგილებას.

5. ეროზია და აკუმულაცია

მდინარის ნაკადი ზემოქმედებას ახდენს თავის კალაპოტზე და აწარმოებს იმ მყარი ნაწილაკების გადაადგილებას ზევიდან ქვევით, რომელთაგანაც შედგება მისი კალაპოტი. ამასთან დაკავშირებით წარმოებს კალაპოტის კონფიგურაციის თანდათანობითი შეცვლა როგორც ვერტიკალური, ისე ჰორიზონტალური მიმართულებით. კალაპოტის ეროზიის ასეთი პროცესი ორნაირია: სიღრმითი და გვერდითი. პირველს ახასიათებს წყალდენის ვერტიკალური მიმართულებით შექრა გრუნტის სიზრქეში, მეორე კი იწვევს მხოლოდ კალაპოტის გაგანიერებას ან მის გადაადგილებას ჰორიზონტალური მიმართულებით მთელი ხეობის ფარგლებში.

ეროზიის ინტენსიურობა დამოკიდებულია მდინარის ხარჯსა და ქანობზე. რაც უფრო მეტია ამ ჰიდრაულიკური ელემენტების სიდიდე, მით უფრო დიდია ნაკადის ფსკერული სიჩქარე და, მაშასადამე, ზემოქმედებაც კალაპოტზე.

სიღრმით ეროზიას აქვს ზღვარი, რომელიც გაპირობებულია ეგრეთწოდებული ეროზიის ბაზისით, ე. ი. უმდაბლესი ნიშნულით, რომლის ქვევით არ შეიძლება დაიწიოს წყლის დონემ მდინარეში. ასე რომ, თუ მდინარე ერთვის ზღვას, ეროზიის ბაზისია უკანასკნელის ჰორიზონტი. თუ მდინარე ჰკვეთს ქვის გრეხილს, რომელიც გარეცხვას დიდ წინააღმდეგობას უწევს, მაშინ ზემომდებარე ნაწილის ეროზიის ბაზისი იქნება ეს გრეხილი. ეროზიის ბაზისიდან იწყება მდინარის ნაკადის ზემოქმედება კალაპოტზე, მისი (მდინარის) შექრა გრუნტში, ზევით, დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით.

რაც უფრო ღრმად იჭრება წყალდენი გრუნტის სიზრქეში, კალაპოტის დიდი ქანობების გავრცელების სფერო მით უფრო ზევით მიიწევს დინების წინააღმდეგ და მდინარის გრძივი ჰორიზონტი ლებულობს ჩაზნექილი პროფილის სახეს. შედარებით ციკაბო ქანობი სათავეს უბანზე თანდათან გადადის დამრეცობაში, ეროზიის ბაზისისავე, სადაც ნაკადის ზიდვის უნაზიანობა მცირდება და ნატანი ირიყება, რაც თავისთავად კიდევ უფრო ამცირებს მდინარის ქანობს (ამ ნატანის ნაწილი, რასაკვირველია, მდინარეს გადააქვს წყალმომღებში). იქ, სადაც წყდება სიღრმითი ეროზიის მოქმედება, იწყება ნატანის დარიყვა და ვითარდება მდინარის გვერდითი ეროზია.

როდესაც ვლაპარაკობთ გვერდით ეროზიაზე, ჩვენ მხედველობაში

გვაქვს არა მარტო მდინარის კალაპოტის გაგანიერება (თუმცა ამასაც აქვს ადგილი გარკვეულ სიდიდემდე), არამედ უმთავრესად მდინარის დაკლ-
 ანილი მოძრაობა საკუთარ ალუვიურ დანალექებში (დასაწყისში, რას-
 კვირველია, ადგილი აქვს გაგანიერებასაც, გარკვეულ ზღვრამდე, რომ-
 ლის შემდეგ სიჩქარე დაიწყებს შემცირებას, რაც თავის მხრივ გამოი-
 წვევს ნატანის დარიყვას და კალაპოტის შევიწროვებას). მდინარის გვერ-
 დით ეროზიას, მის ხეტიალს ხეობის ფარგლებში, შეიძლება ზღვრად დაე-
 დოს ამ ხეობის ფერდობები იმ შემთხვევაში, თუ ისინი არარეცხვადი ძი-
 რითადი ქანებისაგან შედგება. თუ ეს ფერდობები სუსტი ქანებისაგან შე-
 დგება, მდინარის განივი მიმართულებით მოძრაობას შეუძლია ამ ფერ-
 დობების ძირის თადათანობით გამორეცხვა და ხეობის ფსკერის გაგანიე-
 რებაც.

ბარის მდინარეების დაკლაქნილობა გეგმაში იქიდან წარმოიქმნება.
 რომ სწორხაზოვანი მოხაზულობის კალაპოტშიც კი სიჩქარეთა განაწილე-
 ბა ხრახნისებურია, რაც ხელსაყრელ პირობებს ქმნის ნაპირების გარე-
 ცხვისათვის. ესეც რომ არ მივიღოთ მხედველობაში და სწორხაზოვან კა-
 ლაპოტში დაეუშვათ შემთხვევითი გარეცხვა, მაშინ ეს გარეცხვის კერა
 თანდათან მატულობს, ვინაიდან ნაპირის გარეცხილი ადგილისაკენ მიმარ-
 თული ირიბი ჭავლები გაზრდიან წარმოქმნილ სიმრუდეს და დაიწყებენ
 გამორეცხილი გრუნტის გადატანას.

ამრიგად, მდინარის გვერდითი გადაადგილების ძირითად მიზეზს კალა-
 პოტის სიმრუდე წარმოადგენს. მისი მოქმედება განისაზღვრება შემდეგ
 სიდიდით:

$$P_1 = \frac{v^2}{R},$$

სადაც v დინების სიჩქარეა;

R — სიმრუდის რადიუსი.

მდინარის გვერდითი გადაადგილების მეორე ფაქტორია დედამიწის
 ბრუნვის შედეგად წარმოშობილი კორიოლისის აჩქარება, რომელიც
 ჩრდილოეთ ნახევარსფეროზე მოთავსებულ მდინარეებში იწვევს მარჯვე-
 ნა ნაპირის გარეცხვას, სამხრეთ ნახევარსფეროში მოთავსებულ მდინა-
 რეებში კი — მარცხენა ნაპირის.

მისი მოქმედება გამოისახება შემდეგი ტოლობით:

$$P_2 = 2\omega v \sin\varphi,$$

სადაც ω დედამიწის ბრუნვის კუთხური სიჩქარეა;

φ — ადგილის განედლი.

ამრიგად, კალაპოტის მარჯვენა ნაპირზე მოქმედებენ ძალები:

$$P_1 + P_2 = v \left(\frac{v}{R} + 2\omega \sin \varphi \right), \quad (2)$$

მარცხენა ნაპირზე კი

$$P_1 - P_2 = v \left(\frac{v}{R} - 2\omega \sin \varphi \right). \quad (3)$$

მდინარის კლაკნილებს სხვანაირად შეანდრებს უწოდებენ (ტერმინი შემოღებულია მესოპოტამიის ერთი მეტად დაკლაკნილი მდინარის სახელწოდებდან). მათი გადაადგილება უნდა წარმოებდეს ქვევით დინების მიმართულებით, რასაც ადგილი აქვს, მაგალითად, მდ. მდ. მტკვრის, რიონის, ალაზნის და სხვათა დინების ქვემო წელში.

შეანდრების პროცესი შეიძლება შეჩერებულ იქნეს შემდეგ შემთხვევებში:

ა) მდინარე, ავითარებს რა დაკლაკნილობას, ამცირებს გრძივ ქანობს, მაშასადამე, საშუალო სიჩქარესაც; მაშინ შეიძლება დადგეს ისეთი მომენტი, როდესაც ეს სიჩქარე მოხვეულებშიც საკმარისი არ იქნება შემდგომი გარეცხვის საწარმოებლად და ზევიდან მოტანილი ნალექების გადატანისათვის.

ბ) შეანდრები უახლოვდებიან ერთმანეთს და წარმოქმნიან ვიწრო ყელებს. პირიზონტის აწევის დროს ხდება ამ ყელების გარღვევა და ნაკალაპოტარის წარმოშობა.

გ) შეანდრების განვითარება წყდება ხეობის იმ ნაპირებთან, რომლებიც არარეცხვადი ქანებისაგან შედგება.

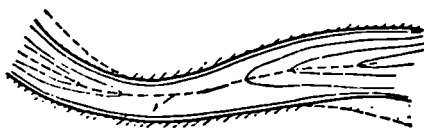
6. ნატბორები (გუზლები) და ჩქარები

ბარის მდინარეებისათვის დამახასიათებელია ნატბორებისა (ორჰა უბნების) და ჩქარების (თხელწყლიანი უბნების) მონაცვლეობა; ნატბორები შეესაბამება გეგმაში კალაპოტის მოხვეულ უბნებს, ჩქარები კი წარმოადგენენ გადასასვლელებს ერთი მოხვეულობიდან მეორეზე. ასეთივე ხასიათი აქვს კუნძულებსაც, რომლებიც ანტოტებენ მდინარეს მის მიერ მოტანილი ნატანის შუაგულში დაგროვების შედეგად.

მდინარის მაქსიმალური სიღრმეების შემაერთებელ ხაზს ფარვატერი ეწოდება (მე-5 და მე-6 ნახაზებზე ნაჩვენებია პუნქტირით). ვინაიდან ნატბორები შეზნეჟილი ნაპირის ზონაშია მოთავსებული, ფარვატერი მონაცვლეობით ხან ერთ ნაპირს ეკვრის, ხან მეორეს, რის გამო იგი ქმნის რამ-

დენადმე უფრო მეტი სიმრუდის ხაზს, ვიდრე კალაპოტის გეომეტრიული ლერძია.

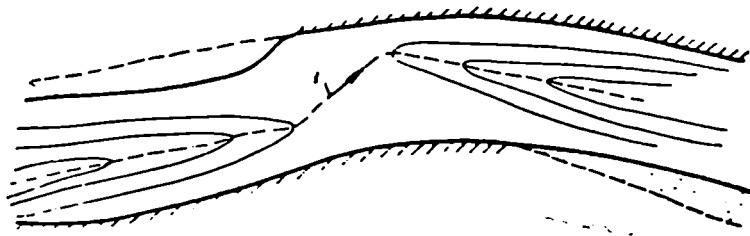
თუ კალაპოტის სიღრმეს გამოვხატავთ იზობატებში (თანასწორი სიღრმეების ხაზები), საშუალო პორიზონტის დროს ჩქერი მოხვდება უდი-



ნახ. 5. ნორმალური ჩქერის სქემა.

1 — მდინარის ფარვატერი.

დესი სიღრმეების ამსახველი შეკრული ხაზების შუალედში. მე-5 ნახაზზე ნაჩვენებია ნორმალური ჩქერი, როდესაც ფარვატერის ხაზი მდოვრედ გადადის ერთი ნატბორიდან მეორეში. მე-6 ნახაზზე ასახულია შემთხვევა,



ნახ. 6. დაძვრული ჩქერის სქემა.

1 — მდინარის ფარვატერი.

როდესაც ხდება ფარვატერის ხაზის გამრუდება, რასაც დაძვრული ჩქერი ეწოდება.

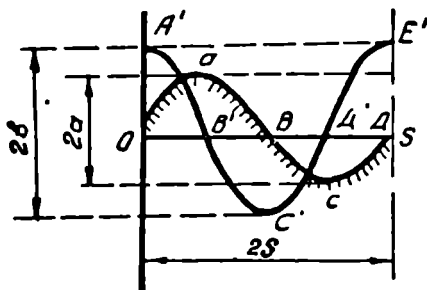
რაც შეეხება მთის მდინარეებს, მათი მოხაზულობა გეგმაში უფრო თავისებურია და არ ემორჩილება რომელიმე მორფოლოგიურ კანონს. ნაპირებს აქვს ტეხილი ხაზების სახე, კალაპოტი იცვლება მკვეთრი ნატბომებით, ღრმა ადგილებს აქვს მეტად უსწორო მოხაზულობა, ასევე უსწორო განლაგება გეგმაში.

7. შარპის მორფოლოგიური დამოკიდებულება

მრავალი დაკვირვებისა და ლაბორატორიული გამოკვლევის საფუძველზე ფარგმა დაადგინა ემპირიული დამოკიდებულება ფსკერის გრძე პროფილსა და მის გეგმურ მოხაზულობას შორის. ცნობილია, რომ ნატბორები მოთავსებულია მდინარის მოსახვევებში, სადაც სიმრუდე მაქსი-

მუმს აღწევს, ჩქერები კი — გადატების ადგილებში, სადაც სიმრუდე ნულის ტოლია. ფარგმა აიღო მდინარის უბანი: ნატბორი პლიუს ჩქერი და $A'E'$ ხაზიდან გადაზომა (ნახ. 7):

ა) კილომეტრიანი სიმრუდის წერტილები (ე. ი. ერთეული, გაყოფილ



ნახ. 7. ფარგის დამოკიდებულების გემომეტრიული ინტერპრეტაცია.

სიმრუდის რადიუსზე კილომეტრებში), მიიღო მრუდი $A'B'C'D'E'$, რომელიც გამოხატავს შეზნევილი ნაპირის სიმრუდის ცვლილებას;

ბ) სიღრმეთა ცვლილების წერტილები (მდინარის ღერძის გასწვრივ) და მიიღო მრუდი $OaBCD$.

თუ Os -ს მივიღებთ x -ების ღერძად, ხოლო OA' -ს y -ების, შეიძლება დავწეროთ მრუდების განტოლება:

$A'B'C'D'E'$ -სათვის

$$y' = b \cos \left(n \frac{x}{s} \right);$$

$OaBCD$ -სათვის

$$y = a \sin \left(n \frac{x}{s} \right);$$

მაშინ

$$\frac{dy}{dx} = \frac{an}{s} \cos \left(n \frac{x}{s} \right);$$

საიდანაც

$$\cos \left(n \frac{x}{s} \right) = \frac{s}{an} \frac{dy}{dx},$$

რომლის ჩასმით პირველ განტოლებაში ვღებულობთ:

$$y' = \frac{bs}{an} \frac{dy}{dx}.$$

აღენიშნეთ: bs k .
 an

მივიღებთ:

$$y' = k \frac{dy}{dx}. \quad (4)$$

ამ მრუდების შედარების შემდეგ ფარგი მივიდა შემდეგ დასკვნამდე:

1. ნატორის ყველაზე დიდი სიღრმე და ჩქერის ყველაზე თხელი ნაწილი უდიდესი და უნციერესი სიმრუდის წერტილების მიმართ დაძვრულია ქვევით დინების მიმართულებით დაახლოებით სიგრძის (ნატბორი + ჩქერი) მეოთხედზე.

2. სიმრუდის თანდათანობით შეცვლას შეესაბამება სიღრმის თანდათანობითი შეცვლა; მკვეთრი ცვლილება ერთისა იწვევს მეორის ასეთსავე ცვლილებას.

3. რაც უფრო მეტია სიმრუდე, მით უფრო მეტია ნატბორის სიღრმე.

4. მრუდის სიგრძის გადიდებასთან ერთად, მოცემული სიმრუდის დროს, სიღრმე ჭერ მატულობს, შემდეგ კი კლებულობს და მდინარის თვითეული უბნისათვის არსებობს სიღრმეების ყველაზე უფრო შესაბამისი მრუდის სიგრძის საშუალო მნიშვნელობა.

ამ ემპირიული დამოკიდებულების შედეგად გაკეთებული დასკვნებ ერთგვარი მექანიკური ახსნის საშუალებასაც იძლევა. მართლაც, არსებობს გარკვეული კავშირი სიმრუდესა და დინების გამრეცხ ძალას შორის: რაც უფრო მეტია სიმრუდე, მით უფრო მახვილი კუთხით ეჭახებიან ჰაულები ნაპირის ჩაზნექილ ნაწილს ამასთან ერთად ნათელია ისიც, რომ ამ დაჭახების ძალის მაქსიმალური სიდიდე მაქსიმალური სიმრუდის მქონე უბნის ქვევით უნდა იყოს. იმის გამო, რომ ნატბორიდან ჩქერზე გადასვლისას სიმრუდე მცირდება, გარეცხვაც კლებულობს და, მაშასადამე, ამის შემდეგ დალექვა უნდა დაიწყოს. ცხადია, რომ რაც უფრო თანდათანობით ხდება სიმრუდის შემცირება, მით უფრო თანაბრად მოხდება გარეცხვის შემცირება და ნატანის დალექვის ზრდა. ამრიგად, ფარგის მეორე დამოკიდებულების მექანიკური მხარე ნათელი ხდება, ასევე გასაგებია პირველი და მესამე დამოკიდებულებაც. რაც შეეხება მეოთხე დამოკიდებულებას, უნდა წარმოვიდგინოთ, რომ მრუდის სიგრძის მეტისმეტად გაზრდის შემთხვევაში გარეცხვის ზონაც სათანადოდ უნდა გაიზარდოს; მაგრამ დინების ძალა საკმარისი არ იქნება იმისათვის, რომ გარეცხვის პროდუქტი თანაბრად გადაადგილოს და თანაბარი სიღრმეები შექმნას მრუდის მთელ მანძილზე. თუ პირიქით მრუდის სიგრძე მეტისმეტად მცირეა, მაშინ ჰაულები: განლაგება ვერ ასწრებს არსებულ სიმრუდესთან შეთანწყობას და ამის გამო გამრეცხი ძალის ზემოქმედება ნაპირზე არასრულყოფილია [5].

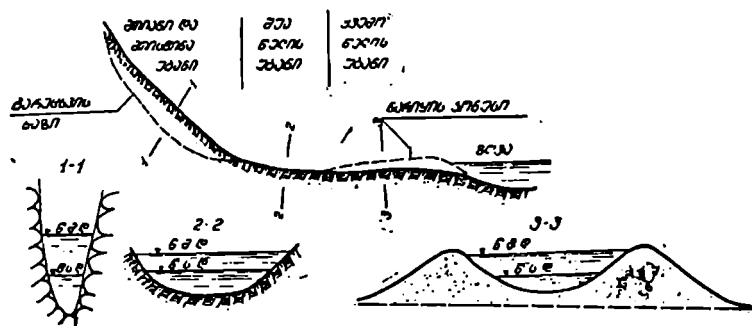
ამრიგად, ფარგის ემპირიული დამოკიდებულებანი მექანიკური თვალსაზრისით ბუნებრივი და გასაგებია. მაგრამ აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ ეს დამოკიდებულებანი ითვალისწინებენ ისეთ იდეალურ პირობებს, როდესაც მდინარის კალაპოტი ერთნაირი გამრეცხუნარიანობის მქონე გრუნტისაგან შედგება. სინამდვილეში მდინარე მიედინება სხვადასხვაგვარ გრუნტებში, რომლებიც არღვევენ ზემოაღნიშნულ დამოკიდებულებებს, და ხანდახან ძალიან მნიშვნელოვნადაც.

მიუხედავად ამისა ამ დამოკიდებულებების მნიშვნელობა მაინც დიდია, რადგან ისინი იძლევიან ძირითად მიმართებებს მდინარის რთული პროცესის შესწავლის საქმეში.

8. მდინარეთა პროფილები

მდინარეთა გრძივი პროფილი დამოკიდებულია ხარჯზე, ქანობსა და ფსკერის გარეცხვისადმი წინაღობაზე. აღნიშნული ძირითადი ფაქტორების მოქმედების შედეგად თანდათან გამომუშავდება გრძივი პროფილის შედარებით მდგრადი ფორმა, რომელსაც წონასწორობის პროფილი ეწოდება.

მე-8 ნახ-ზე ნაჩვენებია მდინარის წონასწორობის პროფილი, რომელსაც ჩაზნექილი სახე აქვს. ეს უკანასკნელი შეესაბამება მეტად გავრცელებულ



ნახ. 8. მდინარის გრძივი პროფილი და განივი რილები.

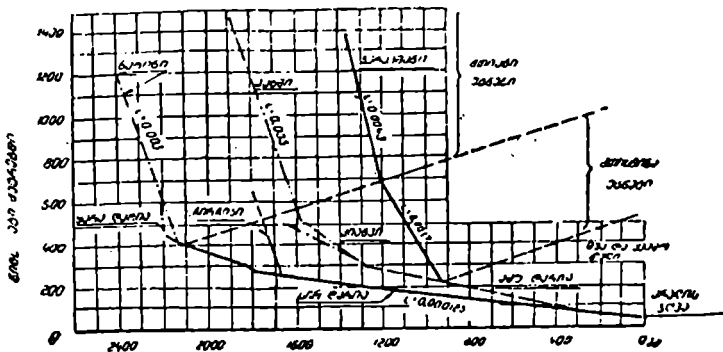
1—1— მთიან და მთისწინა უბნებზე; 2—2— შუა წელის უბნებზე;

3—3— ქვემო წელის უბნებზე.

ბულ შემთხვევას, როდესაც წყლის ხარჯის ზრდა წარმოებს ზევიდან ქვევით დინების მიმართულებით. პირიქით, როდესაც მდინარის ხარჯი მცირდება შესართავისაკენ (მაგალითად, უდაბნოებში), მდინარის პროფილს შეიძლება აჰქონდეს ამოზნექილი სახე (პენკის მიხედვით).

ზოგიერთ მდინარეზე გრძივი პროფილის სიმდოვრე ირღვევა არარეცხვადი ქანობის უბნებზე, რომლებიც წარმოშობენ ქორომებსა და ვარდნილებს.

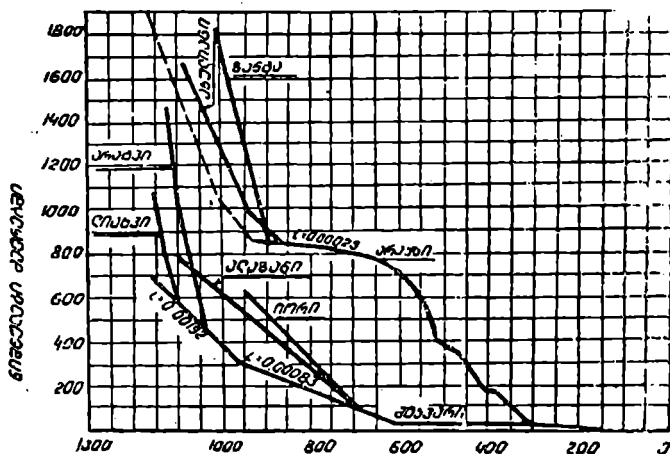
მე-9 და მე-10 ნახაზებზე მოცემულია შუა აზიის (ს. ალტუნის შრომების მიხედვით) და ამიერკავკასიის (ნ. დანელიას შრომების მიხედ-



ნახ. 9. შუა აზიის მდინარეების გრძივი პროფილები.

ვით) დიდი მდინარეების გრძივი პროფილები, რომლებიც ხასიათდებიან ცვლადი ქანობებით — ხშირი გადატეხილობებით.

მიუხედავად ხარჯის გაზარდისა მდინარის ქვემო წელში ნაკადის სა-



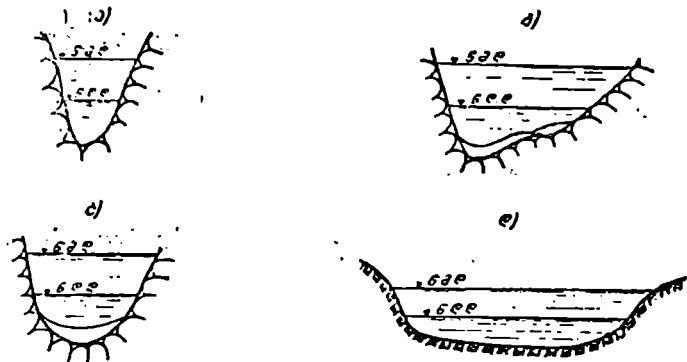
ნახ. 10. ამიერკავკასიის მდინარეების გრძივი პროფილები.

შუალო სიჩქარე კლებულობს ქანობის შემცირების გამო. ამასთან ერთად მცირდება მდინარის მიერ წამოღებული ნატანის ზომებიც.

მდინარის განივი პროფილი სხვადასხვანაირია: მთიან ნაწილში მას აქვს ხეობის (კანიონის) ფორმა, შუა წელში — კარგად განვითარებული ნარწყულია, რომელსაც ეკვრის ბევლი ტერასები. ქვემო წელში ბევრი მდინარე მიედინება საკუთარი ნარიყის კონუსებში, რომელთა ნიშნულები ზანდახან ვაკის საერთო დონეზე მაღალია.

ნ. დანელიას თავის სადისერტაციო ნაშრომში მოყავს მდინარეთა ცალკეული უბნების დამახასიათებელი განივი პროფილები:

საშუალო დღნის დროს კალაპოტის განივი პროფილი მდინარის სწორ და მოხვეულ უბნებზე სხვადასხვანაირია (ნახ. 11).



ნახ. 11. მდინარის კალაპოტის განივი პროფილები.

ა) მაღალმთიან უბნებზე; ბ) მთიან უბნებზე; გ) მთისძირა უბნებზე; დ) ვაკე უბნებზე.

სწორ უბნებზე და ერთგვაროვან გრუნტებში მდინარე გამოიშუშავენს საერთოდ სიმეტრიულ კალაპოტს, დაახლოებით პარაბოლური ფორმისა. წვეროთი სიმეტრიის დერძზე.

ბმულ გრუნტებში, მაგალითად, თიხიანსა და ტორფიანში, მდინარის ნაპირებს შეიძლება ჰქონდეს უფრო ციცაბო, თითქმის შვეული ფერდო, განივკვეთის ფორმა აქ უახლოვდება ელიფსურს. ამჟამად, რომ რაც უფრო სიმეტრიულია ცოცხალი კვეთი, წესიერი და თანდათანობითია ნაპირის კილიდან კალაპოტის შუაგულში გადასვლა, მით უფრო მდგრადი და სწორხაზოვანია უდიდეს სიჩქარეთა მიმართულება მდინარის სწორ უბნებზე და მით უფრო თანაბარია სიჩქარის ზრდა მდინარის შუაგულისაკენ.

პრაქტიკულად მეტად საინტერესოა შეფარდება $B:H$. სადაც B არის მდინარის კალაპოტის სიგანე; H — მდინარის სიღრმე.

ჩვეულებრივ. ვცდილობთ შევამციროთ ამ შეფარდების მნიშვნელობა. მაგრამ არსებობს გარკვეული ზღვარი, რომლიდანაც მეტად ძნელია გადავახვევინოთ მდინარეს, განსაკუთრებით შემცირებისაკენ. ეს შეიძლება

აიხსნას იმ გარემოებით, რომ ნაკადის სიღრმის გადიდებასთან ერთად ხდება სიჩქარის შენელება სიღრმეზე იმ სიდიდემდე, როცა მას (ფსკერულ სიჩქარეს) ძალა არ შესწევს გადაადგილოს ფსკერული ნატანი, რაც იწვევს დალექვას — ფსკერის ამალლებას და ამასთან ერთად კალაპოტის დამუშავებას სიგანეში.

შეფარდება $B:H$ დამოკიდებულია მდინარის ხარჯების სიდიდესა და რეჟიმზე, მდინარის ქანობზე, მისი კალაპოტის ხასიათსა და ნატანის რაოდენობაზე.

ალუვიური კალაპოტის მქონე მდინარეების უბნებზე ეს შეფარდება მუდმივი არ არის; ბატარა მდინარეებსა და ნაკადულებში ეს შეფარდება უფრო მცირეა, ვიდრე დიდ მდინარეებში. ერთი და იმავე მდინარისათვის ეს შეფარდება იზრდება ქვევით დინების მიმართულებით. ალუვიური მდგრადი კალაპოტებისათვის ეს შეფარდება ტოლია $8 \div 12$; ადვილადრეცხვადნაპირებიან მდინარეებზე ან ალწევს $1 \div 20$.

მდინარის არარეცხვად ან ძნელადრეცხვადნაპირებიან უბნებზე ეს სიდიდეები მცირდება $3 - 4$

მდინარის მრუდხაზოვან უბანზე განიკვეთი იცვლის თავის სიმეტრიულობას, უდიდესი სიღრმე თავსდება შეზნეკილი ნაპირის ახლოს. ეს იმიტომ, რომ კვეთში წარმოიშვება სიჩქარეების არათანაბარი განაწილება; შეზნეკილ ნაპირთან შეიქმნება დიდი სიჩქარეები, ბრუნვითი მოძრაობა რთული ხარახნისებრი მრუდის მიხედვით, რომელიც გამორეცხავს გრუნტის ნაწილაკებს შეზნეკილი ნაპირის არეში და ფსკერული დინებით გადაიტანს გამოზნეკილი ნაპირისაკენ, სადაც სიჩქარეთა შემცირების გამო იწყება ნატანის დალექვა.

9. ნ ა ტ ა ნ ი

დედამიწის ზედაპირი წყლისა და ატმოსფერული ფაქტორების მოქმედების შედეგად იშლება და ეს ნაშალი ნაკადების მიერ გადაიტანება ძალი ნიშნულებიდან უფრო დაბალ ნიშნულებზე. ამ მყარი ნაწილაკების გადატანა წარმოებს განუწყვეტლივ ერთი მიმართულებით ძირითად წყალმიმღებამდე (ტბა, ზღვა, ოკეანე), სადაც წყლის ნაკადები წარმოქმნიან დელტებს, ე. ი. ხმელეთის შვერილებს, რომელთა ფართობები თანდათან იზრდება.

ნატანის ნაწილს, რომლის გადაადგილება წარმოებს მის გარემომცველ წყლის მასებთან ერთად, უწოდებენ ატივტივებულ ნატანს; ნატანის ამ ნაწილს, რომლის გადაადგილება ხდება არა წყლის მთელ მასასთან ერთად, არამედ ფსკერის გაყოლებით, უწოდებენ ფსკერულ ნატანს. მსჯელობის სისრულისათვის ნატანის ამ ორ სახეს უნდა დაეუმატოთ მესამე: ნაკადის მიერ ქიმიურად ხსნადი მარილების გადატანა. მაგრამ ეს უკანასკნელი

შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ, უმთავრესად იმის გამო, რომ გახსნილი მყარი ნივთიერების რაოდენობა ნაკადში ყოველთვის მეტად მცირეა და ის არავითარ გავლენას არ ახდენს დინამიკურ პროცესებზე.

ფსკერული ნატანის მყარ ნაწილაკებს იტაცებს ნაკადი და ისინი ნახტომისებურად მოძრაობენ დინების მიმართულებით. ამასთანავე ნაწილაკები ძალიან ხშირად ეხებიან მეზობელ ნაწილაკებს, ურთიერთხახუნის შედეგად მათი კუთხოვანი ფორმა თანდათან გლუვდება და ისინი ცოტად თუ ბევრად მრგვალდებიან. ატივტივებული ნაწილაკები ნაკლებად განიცდიან ხახუნს, ამიტომ ისინი ინარჩუნებენ პირვანდელ კუთხოვან ფორმას.

ნატანი, რომელიც მდინარეში ზევიდან ქვევით მოძრაობს, ურთიერთ-ხახუნის შედეგად განუწყვეტლივ უნდა იცვლებოდეს, ამიტომ მდინარეთა სათავეში, ე. ი. ეროზიის პირველ სტადიაში ნატანის ნაწილაკები, როგორც წესი, უფრო მსხვილია, ვიდრე იმავე მდინარის შუა და ქვემო წელში.

შტერნბერგმა მიიღო სავსებით შესაძლებელი დაშვება, რომ ნატანის ნაწილაკების გაცვეთა მათ შორის არსებული ხახუნის ძალის პროპორციულია, უკანასკნელი კი თავისთავად ნაწილაკების საშუალო წონის პროპორციულია. ამ დაშვების შედეგად მიღებულია შემდეგი დიფერენციალური განტოლება:

$$\frac{dp}{dx} = -c \varphi P.$$

რომლის ინტეგრირების შემდეგ მივიღებთ:

$$P = P_0 e^{-ax} \quad (15)$$

სადაც φ კომბინირებული მამრავლია, რომელიც ერთდროულად ითვალისწინებს ნაწილაკების ფორმას და ეგრეთწოდებული ხახუნის კოეფიციენტს;

C — მუდმივა;

P — მყარი ნაწილაკის წონა მდინარის განსახილველ კვეთში (კგ);

P_0 — იმავე ნაწილაკის წონა განსახილველი უბნის დასაწყისში;

e — ნატურალური ლოგარითმების ფუნქცია;

x — ნაწილაკების მიერ გავლილი მანძილი (კმ);

$a = c\varphi$ — გაცვეთის კოეფიციენტი კგ-ში მანძილის 1 კმ-ზე.

გაცვეთის a კოეფიციენტისა და ნაწილაკის მიერ გავლილი L მანძილის საშუალო მნიშვნელობა, რომელზეც ნაწილაკის წონა ორჯერ მცირდება, მოყვანილია მე-4 ცხრილში [1].

№ რიგზე	ქანების დასახელება	გაცემის კოეფიციენტი, 1 კმ-ზე	მახდილი L, რომელზეც ნაწილაკის წონა ორჯერ მეტრდება, კმ
1	მერჯელი	0,017	30
2	ქირქვა	0,010	50
3	ლოლომიტი	0,038	60
4	კვალიცი	0,003	140
5	ამფიბოლიტი	0,002	200—250

ნატანის მოძრაობას აქვს სპეციფიკური ხასიათი, რომელიც გაპირობებულია შემდეგი თავისებურებებით:

ა) დიდი სხვადასხვაობა ცალკეული ნაწილაკების ფორმებში და ამ ფორმების სრულიად შემთხვევითი გადახვევები რამდენამდე გასაშუალებული მახასიათებლებიდან;

ბ) ცალკეული ნაწილაკების წატაცების პროცესი. მათი გადატანა წარმოებს უწესრიგოდ პულსირებული სიჩქარეების მქონე ცალკეული ჰაველების მიერ, რაც ახასიათებს ტურბულენტურ ნაკადს.

ამრიგად, ნატანის მოძრაობა წარმოადგენს, ერთი მხრივ, ნაწილაკების ფორმისა და ზომების და, მეორე მხრივ, ტურბულენტური ნაკადის სიჩქარეთა შემთხვევითობის ფაქტორთა ერთობლიობას. აქედან გამომდინარეობს, რომ ალბათობის თეორიამ, როგორც მათემატიკურმა დისციპლინამ, რომელიც განიხილავს შემთხვევით მოვლენებს, მეტად დიდი როლი უნდა ითამაშოს ნატანის მოძრაობის შესწავლაში. ამიტომ იყო, რომ ალბერტ ეინშტეინმა (უმცროსი) თავის ნაშრომს ნატანის მოძრაობის მექანიზმების შესახებ ასეთი სახელწოდება მისცა „ნატანის მოძრაობა როგორც ალბათობის თეორიის პრობლემა“.

ნატანის ნაწილაკების ფორმა მეტისმეტად სხვადასხვანაირია; ეს განსაკუთრებით ეხება მცირე ზომის ნაწილაკებს, ვინაიდან რაც უფრო მცირეა ნაწილაკი, მით უფრო მეტ ხანსაა ის ატივტივებულ მდგომარეობაში, ნაკლებად განიცდის ხახუნს და, მავსადაამე, უფრო მეტად ინარჩუნებს თავის პირვანდელ უსწორო ფორმას. საშუალო და მსხვილი ზომის ნატანს აქვს გლუვი, კარგად მოსწორებული, სფეროსებრი ფორმა.

ფიზიკური მდგომარეობის მხრივ ნატანი არის უმცირესი ზომის (ლაში, თიხა) და მსხვილი ზომის (ქვიშა, კენჭი, ქვა). ნატანის ნაწილაკების მექანიკურ დახასიათებას იძლევა მე-12 ნახაზზე მოყვანილი ინტეგრალური მრუდი.

აბსცისების ღერძზე გადაიდება ცალკეული ფრაქციების რიცხობრივი მახასიათებლები მზარდი რიგით, ორდინატების ღერძზე კი — ყველა ფრაქციის ნატანის პროცენტული რაოდენობები მოცემული ფრაქციის

ჩათვლით. ამ მრუდის მიხედვით შოკლიჩმა წამოაყენა შემდეგი შეფარდება:

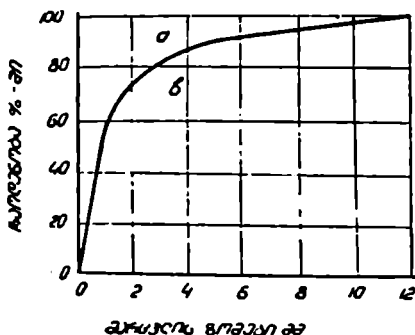
$$n = \frac{a}{b},$$

სადაც a არის გრაფიკის ზედა ნაწილის ფართობი:

b — ქვედასი.

აქედან აშკარაა, რომ იმ ნატანისათვის, რომელშიც წვრილი ფრაქციები სჭარბობს, ეს შეფარდება იქნება მცირე და, პირიქით, მსხვილი ფრაქციების სიჭარბის დროს n კოეფიციენტი იქნება მნიშვნელოვანი ექნება.

ნაკადში ფსკერული ნატანი მოძრაობის განხილვისას მ. ველიკანოვი იმ დასკვნამდე მიდის, რომ: ა) ნატანის ნაწილაკებზე მოქმედებს ორი ძალა — შუბლური წინაღობის ძალა და ამწევი ძალა; ბ) ორივე ძალის მო-



ნახ. 12. ნატანის შემადგენლობის ინტეგრალური მრუდი.

მენტების ერთობლიობა იწვევს ნაწილაკების შემობრუნებას რომელიც პორიზონტალური ღერძის გარშემო და მოყავს იგი ქანაობის მდგომარეობაში. ამიტომ, როგორც წესი, მყარი ნაწილაკები, იწყებენ რა მოძრაობას, მიგორავენ და შეხტებიან, მაგრამ არაფერია შემთხვევაში არ მისრიალებენ.

ამ პირობებიდან გამომდინარე, გამოყვანილია შემდეგი დამოკიდებულება მდინარის ნაკადის სიჩქარესა და კალაპოტის ფსკერის მყარი ნაწილაკის სიდიდეს შორის:

$$\frac{u_z}{gD} = \text{const} = \alpha, \quad (6)$$

სადაც μ არის სიჩქარე;

D — ნაწილაკების დიამეტრი;

α — მულტიპლიკაციის რიცხვი.

ეს გამოსახულება ჰიდროლოგიაში ცნობილია „ერის კანონის“ სახელწოდებით. ხშირად ამ კანონს რამდენაღმე სხვა ფორმით გამოსახავენ. ვინაიდან ტოლი სიმკვრივის მქონე ასეთი ნაწილაკების წონები მათი წირული ზომების კუბის პროპორციულია, ამიტომ ამბობენ, რომ გადატანილი ნაწილაკების წონები პროპორციულია სიჩქარის მეექვსე ხარისხის. აქედან გასაგებია თუ რატომაა, რომ ბარისა და მთის მდინარეების სიჩქარეებში შედარებით მცირე განსხვავების დროს პირველთ მთაქვე მსუბუქი ქვიშას ნაწილაკები, მეორეებს კი მსხვილი კენჭები და ქვებიც კი. თუ სიჩქარეთა შეფარდებას მივიღებთ, მაგალითად 1 : 2 : 3, მაშინ გადატანილი ნაწილაკების შესაბამისი წონები ასეთ შეფარდებაში იქნება: 1 : 64 : 729.

მ. ველიკანოვმა მრავალი ცდის საფუძველზე, რომლებიც მან ჩატარა სხვადასხვა ზომის ნაწილაკებზე (0,1-დან 5 მმ-მდე), μ -სა და D -ს შორის აღმოაჩინა უფრო საერთო ხასიათის კავშირი შემდეგი ემპირიული ფორმულის სახით:

$$\frac{\mu^2}{gD} = \alpha + \frac{\beta}{D}, \quad (7)$$

სადაც $\alpha = 15$ (უგანზომილებო);

$\beta = 6$ მმ.

დიდი ზომის ნაწილაკებისათვის მარჯვენა ნაწილის მეორე შესაკრები მნიშვნელოვნად მცირდება და, თუ მას ანგარიშს არ გავუწევთ, მივიღებთ ერის კანონს შემდეგი სახით:

$$\frac{\mu^2}{gD} = 15. \quad (8)$$

ფსიქურული ნატანის გადაადგილება მთის მდინარეებში ხდება ცალკეული ნაწილაკების სახით, ბარის მდინარეებში კი ბორცვების სახით, რომელთაც ზემო ფერდო დამრეცი აქვთ, ქვემო კი ციცაბო, რომლის ქვეშ წარმოიშვება ამ ციცაბო ფერდობის შენარჩუნებისათვის ხელისშემწყობი ხვეული მოძრაობა.

ცალკეული ნაწილაკები, მოძრაობენ რა ბორცვის დამრეც ზემო ფერდოზე, შეგორდებიან მასზე და შემდეგ ვარდებიან ქვემო ფერდოზე (ნახ.13).

ქვიშოვანი ბორცვების სიმაღლე, მანძილი მათ შორის და გადაადგილე-

ბის სიჩქარე დამოკიდებულია ნაკადის სიღრმესა და სიჩქარეზე, აგრეთვე ნატანის სახეობაზე.

ბევრი მკვლევარი ცდილობდა ემპირიული ფორმულით გამოესახა ქვიშოვანი ბორცვების მოძრაობა რეცხვად კალაპოტში, მაგრამ არც ერთი ამ წესით შექმნილი ფორმულა არ იძლეოდა სასურველ შედეგს [13]. ასე,



ნახ. 13. ფსკერული ნატანის გადაადგილება.

მაგალითად, სანეენმა საფრანგეთში მდ. ლუარზე დაკვირვების საფუძველზე მოგვცა შემდეგი სახის ემპირიული განტოლება:

$$c = 0,00013(u^2 - 0,11), \quad (9)$$

სადა c — ბორცვების გადაადგილების სიჩქარეა;

u — ნაკადის სიჩქარე მდინარის ზედაპირზე.

ავტორი გულისხმობდა, რომ ეს ფორმულა გამოიყენება იმ შემთხვევებში, როდესაც u -ს მნიშვნელობა ნაკლებია 1,106 მ/წმ-ზე.

ვინაიდან ამ ფორმულაში არ მონაწილეობს არც ბორცვის სიმაღლე, არც წყლის სიღრმე კალაპოტში, იგი, რასაკვირველია, ამ სახით მისაღებია ვერ იქნებოდა.

ამ პრობლემის შესწავლის დროს ყურადღება უნდა მიექცეს იმ გარემოებას, რომ ბორცვის გადაადგილების სიჩქარე აუცილებელი არ არის იმ ნაწილაკების მოძრაობის სიჩქარის ტოლი იყოს, რომელთაგანაც შემდგარია ბორცვი. სინამდვილეში ეს ნაწილაკები უფრო მეტი სიჩქარით მოძრაობენ; ეს მოძრაობა შემდეგი სახით შეიძლება წარმოვიდგინოთ: ნაწილაკი იწყებს მოძრაობას ბორცვის ზემო დამრეც ფერდოზე, მიაღწევს მწვერვალს, აქედან იგი ან ჩამოვარდება ქვედა ციცაბო ფერდოზე ან პირდაპირ გადახტება შემდეგ უახლოეს ბორცვზე.

მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტების საფუძველზე დადგენილია, რომ ბორცვების მოძრაობის ხასიათი დამოკიდებულია მდინარის კალაპოტის შემადგენელი ნაწილაკების სიდიდესა და ნაკადის მოძრაობის სიჩქარეზე.

შტრაუბი (აშშ) თავისი გამოკვლევების ანალიზის შედეგად მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ ბორცვების სიმაღლე და მისი ფერდოს დამრეცობა მაქსიმუმს აღწევს, როდესაც ნაკადის სიჩქარე უახლოვდება კრიტიკულს. იმ

შემთხვევაში კი, როცა სიჩქარე გადასცილდება კრიტიკულს, უსწორმასწორობები იშლება და კალაპოტის ძირი გლუვი ხდება.

ფსკერული ნატანის რაოდენობის გამოსარკვევად მრავალი ემპირიული ფორმულა არსებობს [10].

გ. ლობათინის მიერ მოცემულია შემდეგი სახის ფორმულა:

$$g = 1400 B \frac{(v-v_0)i^{4/3}}{d^{1/3}} \quad (10)$$

სადაც g ნატანის ხარჯია კგ/წმ-ში;

B — კალაპოტის იმ ნაწილის სიგანე მეტრებში, სადაც წარმოება ნატანის ინტენსიური მოძრაობა;

d — ნატანის ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი მმ-ში;

i — ნაკადის ქანობი;

v — ნაკადის საშუალო სიჩქარე მ/წმ-ში;

v_0 — ნაკადის ის საშუალო სიჩქარე, რომლის დროსაც იწყება ნატანის მოძრაობა.

ა. შოკლიჩის ფორმულით

$$q_i = \frac{7000}{\sqrt{d}} i^{3/2} (q - q_0) \quad (11)$$

სადაც q_i ნატანის ზვედრითი ხარჯია კგ/წმ-ში კალაპოტის 1 მ სიგანეზე;

d — ნატანის ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი მმ-ში;

q — წყლის ხარჯი მ³/წმ-ში კალაპოტის ერთ გრძივ მ სიგანეზე;

q_0 — წყლის ხარჯი 1 გრძივ მ სიგანეზე, რომლის დროსაც იწყება ნატანის მოძრაობა; ის გამოითვლება შემდეგი გამოსახულებით

$$q_0 i^{4/3} = 0,00001944 d.$$

ნატანის ხარჯის გამოსარკვევად კალაპოტის მთელ სიგანეზე საჭიროა q_i გავამრავლოთ კალაპოტის აქტიური ზოლის სიგანეზე B ან გამოვთვალოთ შემდეგი ფორმულით:

$$Q_T = \frac{7000}{\sqrt{d}} i^{3/2} (Q - Q_0) \quad (12)$$

სადაც Q ნაკადის მთლიანი ხარჯია მ³/წმ-ში;

Q_0 — ის ხარჯი, რომლის დროსაც ნატანი იწყებს მოძრაობას.

ი. ლევი ლაბორატორიული ცდების საფუძველზე იძლევა ნატანის ხვედრითი ხარჯის შემდეგ გამოსახულებას:

$$q_1 = 2 \left(\frac{v}{\sqrt{gd}} \right)^3 d \left(v - v_0 \right) \left(\frac{d}{h} \right)^{1/4} \left(\frac{d_{\text{მაქს.}}}{d} \right)^{1/7}, \quad (13)$$

სადაც v ნაკადის საშუალო სიჩქარეა მ/წმ-ში;

d — ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი მ-ში;

$d_{\text{მაქს.}}$ — ნაწილაკების მაქსიმალური დიამეტრი მ-ში;

h — ნაკადის სიღრმე მ-ში;

v_0 — ნაწილაკების გადაადგილების საწყისი სიჩქარე მ/წმ-ში, რომელიც შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

როდესაც

$$\frac{h}{d} > 60,$$

$$v_0 = 1,4\sqrt{gd} \left(\frac{d_{\text{მაქს.}}}{d} \right)^{1/7} \ln \frac{h}{7d};$$

როდესაც

$$10 < \frac{h}{d} < 60,$$

$$v_0 = 1,4\sqrt{gd} \left(\frac{d_{\text{მაქს.}}}{d} \right)^{1/7} \left(1 + \ln \sqrt{\frac{h}{7d}} \right).$$

ვ. გონჩაროვი შემდეგი სახის ფორმულას იძლევა:

$$q_1 = 2,08 \left(\frac{v}{s_n} \right)^3 d \left(\frac{d}{h} \right)^{0,2} (v - s_n), \quad (14)$$

სადაც s_n ის სიჩქარეა, რომლის დროსაც ხდება ნატანის ნაწილაკების დაძვრა (დანარჩენი აღნიშვნები იგივეა).

s_n სიჩქარე გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$s_n = 3h^{0,2} \left(\frac{d}{D} \right)^{0,2} (d + 0,0014)^{0,6},$$

სადაც D ნაწილაკის უდიდესი დიამეტრი მ-ში.

შემდეგ ვ. გონჩაროვი იძლევა ასეთ დამოკიდებულებას:

$$q_t = 1,96 (1 + \varphi) v_n d \left(\frac{v}{v_n} \right)^{4,33}, \quad (15)$$

სადაც φ ტურბულენტობის პარამეტრია, რომლის მნიშვნელობა სათანადო ცხრილებით განისაზღვრება. ასე, მაგალითად, როცა

$$d > 1,5 \text{ მმ}, \quad \varphi = 1.$$

გ. შამოვმა ნატანის ხვედრითი ხარჯი შემდეგი ფორმულით განსაზღვრა:

როცა

$$d \cong 0,15 - 0,2 \text{ მმ},$$

$$q_t = 0,95 \sqrt{d} \left(\frac{v}{v_0} \right)^3 \left(\frac{d}{h} \right)^{1/4} (v - v_0), \quad (16)$$

სადაც

$$v_0 = 3,83 d^{1/3} h^{1/6}. -$$

ეს ფორმულა შემოწმებული იყო მის მიერ მდ. მდ. სამურსა და ვოლგაზე.

ი. ორლოვის მიერ მოცემულია მთისა და მთისძირა მდინარეებში ფსკერული ნატანის ხვედრითი რაოდენობის ფორმულა ρ_T კგ/მ³-ში

$$\rho_T = 0,006 \gamma \left[\frac{hi}{d(\sigma - 1)} - 0,04 \right], \quad (17)$$

სადაც γ წყლის ხვედრითი წონაა 1 ტ/მ³-ში

δ — ტოლია γ : γ და საშუალოდ 2,65-ის ტოლია;

γ — ნატანის ხვედრითი წონა, რომელიც საშუალოდ 2,65 ტ/მ³-ის ტოლია;

d — ნატანის საშუალო დიამეტრი მ-ში;

h — ნაკადის საშუალო სიღრმე მ-ში;

i — ნაკადის საშუალო ზედაპირის ქანობი.

გარდა ზემომოყვანილი ფორმულებისა კიდევ არსებობს სხვა ავტორთა წინადადებანი, რომლებიც სხვადასხვა სიზუსტით აშუქებენ ფსკერული ნატანის მოძრაობის საკითხს.

10. სელური ნაკადვაი

„სელი“ ანუ „სილი“ ტერმინია, რომელიც არაბულ ენაზე ნიშნავს მთის სწრაფდენად ნაკადს. მაგრამ თანამედროვე ჰიდროლოგიურ ლიტერატურაში ამ ტერმინით აღნიშნავენ არა მთის ნაკადს საერთოდ, არამედ მის ნაირსახეობას, რომელსაც ახასიათებს დიდი რაოდენობის მყარი მასა-

ლებიან შემცველობა. ამიტომ ტერმინს „სელური ნაკადი“ ხანდახან ცვლიან ტერმინით „ქვატალახიანი ნაკადი“.

ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობები, რომლებითაც გაპირობებულია სელური ნაკადების ფორმირება, ეს არის მთის ციცაბო ფერდობები, დასერილი ეროზიული კვლებითა და ნაღვარევეებით, სადაც გვაღვიან პერიოდში წარმოებს ქანების დაშლა და მათი დაგროვება ეროზიულ ჩანაჭერებში. ამ ჩანაჭერებში დაგროვილი მთის ქანების დაშლის პროდუქტები გადაიქცევა ქვატალახიან მასად და პერიოდულად, ძლიერი ნიაღვრების დროს, მოძრაობას იწყებს კალაპოტში სელური ნაკადის სახით.

სელური ნაკადები დამახასიათებელია მთისა და მთისწინა მდინარეებისათვის. ისინი სტიქიის მრისხანე მოვლენებს წარმოადგენენ, რომლებიც დროის შედარებით მოკლე მონაკვეთში დიდი სიძლიერით მოქმედებენ. მდინარეს ქვემომდებარე უბნებზე გამოაქვს მთის ქანების დაშლის პროდუქტების დიდი რაოდენობა, რაც უეცარი მოქმედების გამო იწვევს დიდ უბედურებას, რომელიც ხშირად დაკავშირებულია ადამიანთა მსხვერპლთანაც კი. მაგალითად, სელურმა ნაკადებმა დიდი ზარალი მიაყენა შუა აზიაში ქ. ალმა-ატას 1841, 1887 და 1921 წწ., ანიერკავკასიაში — ნუხას 1772 და 1946 წწ., ორდუბადის — 1874 და 1931 წწ., სოფელ ბაშ-გენიუჯს — 1910 წ. 1942 წლის ივნისში ჩრდილო ფერგანის აზხზე რამდენიმე ტალახიანი სელი შეიჭრა სარწყავ მაგისტრალში, გაარღვია ის და ტალახით დაფარა ქვემომდებარე მიწების მნიშვნელოვანი ფართობი. საქართველოში სელური ნაკადების კერას წარმოადგენს მთის მდინარე დურუჭი. 1896, 1906 და 1947 წწ. ამ მდინარეზე გავლილმა სელებმა დიდი ზარალი მიაყენა სოფელ ყვარელს.

ამიერკავკასიის დაახლოებით 10%-მდე ფართობი არის სელური ნაკადების ნგრევითი მოქმედების ზონაში. ამ მოვლენებთან ბრძოლა უძველესი დროიდან წარმოებდა, ძირითადად, დამცველი ღონისძიებებით, რომლებიც ტარებოდა მთის მდინარეების ქვემო წელში, დასახლებული პუნქტებისა და სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების შემოზღუდვის გზით. მაგრამ ეს ღონისძიებები დროებით ხასიათს ატარებდა. გასული საუკუნის დამლევს დაიწყო სელებთან ბრძოლის ახალი რაციონალური ზერხების ძიება. როგორც ჩვენთან, ისე საზღვარგარეთ ამ საქმეს პიონერები იყვნენ მეტყუვეები, ვინაიდან სელის წარმოშობის ძირითადი მიზეზი გახდა ტყის გაჩეხა მდინარეთა აუზებში და ეროზიული პროცესების ინტენსიური განვითარება. ბუნებრივად შეიქმნა აზრი, რომ მთის ციცაბო ფერდობზე მცენარეულობის აღდგენის გზით შესაძლებელია სელური კერების მოსპობა და მთის ნაკადის ჩამონადენის რეგულირება. სამეცნიერო-კვლევითმა სამუშაოებმა, რომლებიც ამიერკავკასიაში გაშლილია 1930 წლიდან, გვიჩვენებს, რომ სელური ნაკადების კერები წარმოიქმნება მცენარეული საფარის

გავრცელების ზონის ზევითაც და ამიტომ მარტო სატყეო-მელიორაციული ღონისძიებები ვერ შეძლებენ სელის საფრთხის თავიდან აცილებას. მაშასადამე, საჭიროა ჰიდროტექნიკური ხასიათის ღონისძიებების გამოყენებაც, ძირითადად, სელური ნაკადის მოძრაობის შესაჩერებლად დასაცავობიქტებამდე.

სათანადო ღონისძიებათა დასახვისათვის საჭირო იყო სელის ბუნების, მისი დამახასიათებელი თვისებების ცოდნა. სამეცნიერო-საკვლევმა ინსტიტუტებმა დიდი მუშაობა ჩაატარეს ამ მხრივ. პროფ. მ. ველიკანოვი სელურ ნაკადებს, მასის შემადგენლობის მიხედვით, სამ კატეგორიად ჰყოფს: ტალახიანი, ქვატალახიანი და ქვაწყლიანი.

პირველი კატეგორია წარმოადგენს სქელ, ტალახიან მასას, რომელიც მოძრაობს ზვინულივით, დაახლოებით ერთნაირი სიჩქარით. ამ კატეგორიას ეკუთვნის მდინარე შირინ-საი, რომელიც მდ. სირ-დარიის მარცხენა შენაკადს წარმოადგენს.

მეორე კატეგორიის სელური მასა შედგება, ერთი მხრივ, უწყრილესი ნაწილაკებისაგან (ქვიშა, ლამი, ლიოსი), რომლებიც ატივტივებულია ნაკადის მიერ და მოძრაობენ მასთან ერთად როგორც მთლიანი მასა, და ისეთი ზომის მსხვილი ნატანისაგან (კენჭი, ღორღი, წვრილი ქვიშა), რომლის თავისუფლად გადაადგილება ნაკადის ფსკერზე შესაძლებელია. მეორე მხრივ, მასის შემადგენლობაში შედის მსხვილი ქვები, რომელთა გადაადგილებისათვის სელური ნაკადის ბუნებრივი სიჩქარეები საკმარისი არ არის და მათი გადაადგილება ხდება მხოლოდ გაძლიერებული სიჩქარეებისა და წნევის მოქმედებით, რომლებიც წარმოიშეება ნაკადის მიერ ქვების გროვების გარღვევის შედეგად. ამ კატეგორიის მდინარეა ალმა-ატა.

სელების მესამე კატეგორია წარმოიქმნება დაშლილი, ნაბრალიანი ქანებისაგან შემდგარ მთის ხეობებში, სადაც მცირე რაოდენობითაა წვრილი ფრაქციები, რის გამო ნაკადის სიმღვრივე შეიძლება მცირე იყოს, მაგრამ გადატანილი ქვების მოცულობა კი — მნიშვნელოვანი. ამ სახის სელი დამახასიათებელია კავკასიის ქედის სამხრეთი ფერდობისათვის.

სელური ნაკადების შემსწავლელ მესამე სრულიად საკავშირო კონფერენციაზე 1952 წელს სელური მასის შემადგენლობის, მისი ხარისხობრივი თვისებებისა და დინების ხასიათის მიხედვით, სელური ნაკადები დაყოფილ იქნა: დენად (ტურბულენტურ) და ბმულ (სტრუქტურულ) ნაკადებად.

დენად სელურ ნაკადებში მოძრავ ძალას წარმოადგენს წყალი, რომელიც ხანდახან დიდადაა გაჭერებული წვრილმარცვლოვანი გრუნტით. მას მოაქვს ფსკერული ნაკადი და ლექავს ნარიყის კონუსზე. ბმულ სელურ ნაკადებში წყალი არ წარმოადგენს მოძრავ ძალას, არამედ შედის

საერთო მასაში როგორც ერთ-ერთი შემადგენელი. ასეთი მასა წარმოადგენს სტრუქტურულ მთლიანობას, რომელიც ნარიყის კონუზზე კი არ იშლება შემადგენელ ნაწილებად, არამედ ნელ-ნელა ილექება (застаивается).

დიდი და მეტად საინტერესო სამუშაოებია ჩატარებული სელის ძირითადი თვისებების შესწავლის მხრივ საქართველოს პიდროტექნიკისა და მელიორაციის სამეცნიერო-საკვლევო ინსტიტუტის მიერ მ. გაგოშიძის ხელმძღვანელობით [7]. კავკასიონის სამხრეთ კალთაზე სელურ მოვლენებზე წარმოებული მრავალწლიანი დაკვირვებების, მათი შესწავლისა და ლაბორატორიულ გამოკვლევათა საფუძველზე მოცემული იყო სელის უფრო სრულყოფილი კლასიფიკაცია. დამტკიცდა, რომ სელური ნაკადები წარმოადგენენ არა მარტო წყლის ნაკადების ერთ-ერთ სახეს, როგორც ეს აქამდე ეგონათ, არამედ წყლის მცირე რაოდენობით შემცველი მთის ქანების დაშლის პროდუქტების გადაადგილების ერთ-ერთ განსაკუთრებულ სახეს.

სელური ნაკადი წარმოადგენს მეტად დიდი სიბლანტის მქონე ქვატალახიან ღვარს, რომელიც ფართო კალაპოტშიც კი მოძრაობს ვიწრო ზოლით (სიგანით 40—50 მ-მდე, სიმაღლით 2 მ-მდე), დიდი სიჩქარით და აქვს ოდნავ ამოზნექილი ფორმა, რომელიც გვერდებიდან შემოსაზღვრულია ციცაბო ფერდობით.

წყლის რაოდენობა სელურ მასაში იცვლება $10 \div 20\%$ ფარგლებში წონის მიხედვით და $25 \div 50\%$ მოცულობის მიხედვით.

წყლის რაოდენობის გადიდების შემთხვევაში სელური ნაკადი გადაიქცევა სელურ წყალდიდობად, რომელიც წყლისა და მყარი მასალის მექანიკურ შენაერთს წარმოადგენს, სადაც მყარი მასალის რაოდენობა $20 \div 30\%$ -ს აღწევს. წყლოვანი ფაქტორის შემდგომი გადიდება გარდაქმნის მას ჩვეულებრივ წყალდიდობად. ამრიგად, ჩვეულებრივი წყალდიდობა ეს არის მთის წყალდიდობა, როდესაც მყარი მასალის რაოდენობა მნიშვნელოვნად მცირდება და ნაკადის მოძრაობა წარმოებს მთელ კალაპოტში მისი კლაკნების გაყოლებით.

სელური ნაკადის კინეტიკური ენერგია რამდენიმეჯერ უფრო მეტია, ვიდრე სელური და ჩვეულებრივი წყალდიდობებისა. ეს ენერგია შედგება ცალკეული ქვის ჩანართების, ღორღის, ქვიშისა და მათზე შემოკრული თხიერი ტალახიანი მასის ენერგიების ჯამიდან.

სელური მასა, დიდი მოცულობითი წონის გამო, დარტყმითი ზემოქმედებით ადვილად ანგრევს და ანადგურებს მისი მსვლელობის გზაზე შემხედრ დაბრკოლებებს.

სელურ ნაკადს რამდენიმე ასეულჯერ უფრო მეტი დაშლის პროდუქტები გამოაქვს, ვიდრე ჩვეულებრივ წყალდიდობებს, ასე, მაგალითად, მდ.

თერგის ერთ-ერთი შეხაკადის მიერ 1932 წლის სელის დროს გამოტანილია დაახლოებით 15 მლნ მ³ მასალა, აღმა-ატის 1921 წლის სელის გამო-ნატანის მოცულობა დაახლოებით 2 მლნ მ³-ს შეადგენდა, მდ. ღურუჯზე 1949 წელს აღრიცხულია 600 ათასი მ³ გამონატანი.

სელის გავლის ხანგრძლიობა მოკლეა. ე. კონოვალოვის მონაცემებით, სელის 111 შემთხვევის ანალიზის საფუძველზე ხანგრძლიობა, რომელიც უფრო ხშირად გვხვდება, შეადგენს 1—2 საათს 3—5 მწმ საშუალო სიჩქარით.

სელური ნაკადის დამახასიათებელ თვისებას წარმოადგენს მისი სელურ წყალდიდობაში გადასვლის უნარი იმ დროს, როდესაც პირუქუ შემთხვევას არ შეიძლება ჰქონდეს ადგილი. დაკვირვებებმა ცხადპყვეს, რომ მძლავრი სელური ნაკადები წარმოიშვება გვალვის შემდეგ დიდი ნალექების მოსვლის დროს. ამათანავე რაც უფრო ხანგრძლივია გვალვის პერიოდი, მით უფრო მძლავრია წარმოშობილი სელური ნაკადები. ზოგიერთ შემთხვევაში მცირე მასის სელებს შეუძლიათ დაწყონ მოძრაობა სელისწარმომქმნელი კერებიდან ატმოსფერული ნალექების მოსვლის გარეშეც.

II. კალაპოტის რეგულირების ამოცანები

წყლის ნაკადი განუწყვეტლივ მოქმედებს თავის კალაპოტზე, უცვლის მას სახეს და ძალიან ხშირად კალაპოტის ფორმირება წარიმართება ადამიანის სამეურნეო საქმიანობის საზიანოდ. მდინარის კალაპოტის ასეთი დეფორმაციის უშუალო მიზეზია ნატანის საერთო ბალანსის დარღვევა კალაპოტის ზოგიერთ უბანზე ის მდინარეს მეტი შემოაქვს, ვიდრე გააქვს ან, პირიქით, მეტი გააქვს, ვიდრე შემოაქვს. ამის გამო პირველ შემთხვევაში კალაპოტი მალღდება, მეორეში კი — ირეცხება.

ნატანის ბალანსის დარღვევას შეუძლია გამოიწვიოს მდინარის როგორც განიკვეთის, ისე გრძივი პროფილის შეცვლა. ეს პროცესები განსაკუთრებით აქტიური ხდება წყალდიდობისა და სელური ნაკადების გავლის დროს, მაგრამ ხშირად ბუნებრივ პირობებშიაც მათ მნიშვნელოვანი ზიანი მოაქვს სახალხო მეურნეობისათვის. ამიტომ საჭირო ხდება ზომების მიღება მდინარის ჩვეულებრივი რეჟიმის შესაცვლელად მარეგულირებელ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა შექმნის გზით, რომელთაც შეეძლებათ საჭირო მიმართულება მისცენ კალაპოტშიგა პროცესს და თავიდან იქნეს აცილებული გარეცხვისა და დატბორვის არასასურველი შედეგები.

კალაპოტის რეგულირების დროს იცვლება ნაკადის სტრუქტურა და, პირიქით, ნაკადის ჰიდრაულიკურ სტრუქტურაზე ნაგებობის შემოქმედების დროს იცვლება კალაპოტის ფორმა. ამოცანა იმაში მდგომარეობს.

რომ გამოინახოს ნაგებობისა და ნაკადის მიზანშეწონილი ურთიერთქმედება, რომელიც კალაპოტის წარმომქმნელ პროცესებს ჩვენთვის სასურველ მიმართულებას მისცემს.

ამ ამოცანის სწორად გადაწყვეტისათვის საჭიროა დეტალურად იქნეს შესწავლილი მდინარის ხასიათი და რეჟიმი, მისი თხიერი და მყარი ჩამონადენი, რომლებიც ძალიან განსხვავდება არა თუ სხვადასხვა წყალდენისათვის, არამედ ერთი და იმავე კალაპოტის ცალკეულ უბნებზეც კი.

უნდა აღინიშნოს, რომ მდინარის რეჟიმი განისაზღვრება ურთიერთმოქმედი ფაქტორების რთული კომპლექსით, რომელთა შორის კავშირი ყოველთვის არ შეიძლება გამოიხატოს საკმაოდ გარკვეულად. ამ სირთულით, მრავალსახეობითა და ურთიერთკავშირით უნდა აიხსნას ის, რომ აქამდე არ მოგვეპოვება მდინარეთა რაზუნდამე საერთო კლასიფიკაცია და კერძოდ კლასიფიკაცია, რომელიც დაექვემდებარება მდინარეთა კალაპოტის რეგულირების საკითხებს.

კალაპოტის რეგულირება და სათანადო ნაგებობათა აგება შემდეგი მიზნით ტარდება:

ა) ნაპირებისა და მასზე მდებარე მიწის სავარგულებისა და შენობების გარეცხვისაგან დაცვისათვის;

ბ) ჰიდროტექნიკურ და სხვა ნაგებობათა (საყრდენების, ხიდური გადასასვლელების, დიუკერების, აკვედუკების) დაცვისათვის გარეცხვისა და დანგრევისაგან;

გ) მიწის სავარგულების, სამრეწველო საწარმოებისა და დასახლებული პუნქტების დაცვისათვის დატბორვისაგან წყალდიდობის პერიოდში, როდესაც წყალი მდინარის ნაპირებზე გადადის;

დ) კალაპოტის გასწორხაზებისა და მიწის ამოხაპვისათვის ნაოსნობის გაუმჯობესების მიზნით, სამდინარო ტრანსპორტის დღითიდღე მზარდი მოთხოვნილების დასაკმაყოფილებლად;

ე) შენობათა და დასახლებული პუნქტების დაცვისათვის სელური ნაკადებისაგან.

ზემოაღნიშნულ ამოცანათა გადაჭრას მეტად აქტუალური მნიშვნელობა აქვს, განსაკუთრებით კი ისეთი მთიანი მხარისათვის, როგორცაა საქართველო და საერთოდ ამიერკავკასია.

საქართველოს მთის მდინარეებს ახასიათებს ჩამონადენის თავისებური რეჟიმი — მდინარეთა დიდი დაქანება, ხარჭებინა და სიჩქარეების მნიშვნელოვანი რყევა, ფსკერული ნატანის სიუხვე. ამის გამო გაზაფხულისა და შემოდგომის წყალდიდობები ძალიან ხშირად მნიშვნელოვან ზარალს აყენებენ მოსახლეობას და ხანდახან კი დიდ მახვერპლსაც იწვევენ.

ამიტომ ჩვენი სახელმწიფო დიდ ყურადღებას აქცევს წყალდიდობასთან ბრძოლის საქმეს. წლიდან წლამდე იზრდება ანიგნობანი კალაპოტების

რეგულირების ხაზით; ნაგებობათა რაციონალური კონსტრუქციების შექმნაზე მუშაობს სამეცნიერო-საკვლევო ინსტიტუტებისა და საპროექტო ორგანიზაციების მრავალი სპეციალისტი.

მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარების დღევანდელი დონე ჩვენს ქვეყანაში, რთულ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა მშენებლობის მდიდარი პრაქტიკა, ლაბორატორიულ და ნატურულ გამოკვლევათა დიდი მასშტაბები იმის საშუალებას იძლევიან, რომ კალაპოტის რეგულირების რთული საკითხები წარმატებით იქნეს გადაჭრილი.

III. მდინარეთა რეჟიმის შესწავლის მოკლე ისტორიული მიმოხილვა

მდინარეთა რეჟიმის შესწავლამ თავის განვითარებაში გარკვეული ევოლუცია განიცადა, სანამ დღევანდელ მდგომარეობას მიაღწევდა.

მდინარეთა შესახებ ცოდნის დაგროვება ძალიან დიდი ხნის წინათ დაიწყო; ცალკეულ ნაწყვეტ ცნობებს ამ დარგიდან ძველი დროის მრავალი ავტორის ნამუშევრებში ვხვდებით. ცნობილია, რომ ძველი ეგვიპტის ქუროუმები რეგულარულ ჩანაწერებს და დაკვირვებებს აწარმოებდნენ მდ. ნილოსის რეჟიმზე. ეს გასაგებიცაა, ვინაიდან მთელი ეგვიპტე, მისი სოფლის მეურნეობა დიდად იყო დამოკიდებული ამ მდინარის წყლიანობაზე. ჰიდროლოგიური ცოდნის გარკვეული დონე მკლავდებდა რომის აკვედუკებისა და წყალსადენების მშენებლობის გაცნობისა.

გვიან, აღორძინების ხანაში, ჰიდროტექნიკურმა მშენებლობამ ევროპის სამხრეთ ნაწილში, უმთავრესად იტალიაში, არხების, წყალსადენებისა და სხვა დანადგართა მშენებლობამ საჭირო გახადა წყალდენების შესწავლა, მათი წყლიანობის გაზომვა, აგრეთვე ნაპირების გარეცხვის პროცესებისა და სხვ. შესწავლა.

ამის გამო იმ დროის ზოგიერთი იტალიელი ინჟინერი ისტორიაში შევიდა მხოლოდ იმისათვის, რომ შექმნა წყლის სიჩქარის საზომი იარაღები, რასაკვირველია, პრიმიტიული სახის.

ჩვენამდე მოღწეულ ლეონარდო და ვინჩის (1452—1519) მონოგრაფიებში ვხვდებით მეტად საინტერესო მოსაზრებებს მდინარეში წყლის მოძრაობის მექანიზმის შესახებ.

სწორედ ნაყადის ძალის გამოყენების მისწრაფებამ მისთვის საჭირო მიმართულებით მისაცემად აუცილებელი გახადა ამ ნაყადის ბუნებისა და მდინარის კალაპოტის ფორმირებაზე მისი ზემოქმედების ცოდნა.

განსაკუთრებული განვითარება მდინარის რეჟიმისა და კალაპოტშივა პროცესების შესწავლის საკითხმა მიიღო XVIII და XIX საუკუნეებში.

სამდინარო ჰიდრაულიკა და ჰიდროდინამიკა, რომლებიც ძირითადად

არ ეყრდნობოდნენ თეორიულ მსჯელობებს, ვერ იძლეოდნენ წამოჭრილი საკითხების პრაქტიკული გადაჭრის საშუალებას.

სულ უფრო და უფრო საჭირო ხდებოდა მდინარის ნაკადის გამოკვლევა, მასზე დაკვირვება და მისი შედეგების შემდგომი განზოგადება და ანალიზი. ამ აზრს იზიარებდნენ ჰიდროტექნიკოსები, რომლებსაც სანაოსნო მდინარეებთან ჰქონდათ საქმე, ვინაიდან არსებული სიძნელები ნაოსნობაში, განსაკუთრებით წყალმცირობის დროს, დაჟინებით მოითხოვდა საჭირო ზომების მიღებას. ამიტომ სპეციალისტები იძულებული იყვნენ პრაქტიკულად შეესწავლათ ნაკადის მოძრაობისა და ნატანის გადაადგილების კანონები, ამ მასალების საფუძველზე გამოეტანათ პრაქტიკული დასკვნები და შემდეგ გაეკეთებინათ მათთვის თეორიული ანალიზი.

ამან გამოიწვია გაცხოველებული მუშაობა მდინარეთა მოძრაობის კანონების შესწავლისათვის, ნაკადის სიჩქარეების გასაზომი ახალი ხელაწყოების გამოგონებისათვის; შეიქმნა ემპირიული ფორმულები დინების სიჩქარეების (მოცემული ქანობების მიხედვით), ნატანის მოძრაობის, გარეცხვის, დაღეჟვისა და სხვ. გასაანგარიშებლად.

პირველი სერიოზული საცდელი გამოკვლევები, რომლებიც ამ საკითხს შესწავლას მიეძღვნა, ჩატარებულ იქნა დიუბუას (Dubuat), მიერ. ამ გამოკვლევათა შედეგები გამოქვეყნებული იყო 1786 წელს. ამ გამოკვლევებით დაიწყო სამეცნიერო ცნობების შეგროვება მდინარეებში ნატანის მოძრაობის შესახებ; დადგენილ იქნა სიჩქარეები სხვადასხვა გრუნტებისათვის, რომლის დროსაც მისი ნაწილაკები გადაადგილებას იწყებდა ნაკადში.

ამავე ცდებმა გვიჩვენა, რომ ნაკადის სიჩქარე 25—30 სმ/წმ საკმარისია ქვიშიანი ტალღების გამოაწვევად ფსკერზე, რომელიც შედგება გრუნტის წვრილი ნაწილაკებისაგან. ქვიშის მარცვლები ნელა მიგორავდნენ ფსკერული ნატანის ბორცვისებურ ზედაპირზე დინების მიმართულებით და შემდეგ ციკაბო ფერღობით ჩაგორდებოდნენ ფსკერზე. ასეთი პროცესის გამო ქვიშიან ტალღებს ახასიათებდა ნელი წინსვლითი მოძრაობა დინების მიმართულებით.

დიუბუამ პირველმა მოგვცა საყოველთაოდ მიღებული წნევის გამოსახულება, რომელსაც ახდენს დინება ყოველი ფორმის მყარ სხეულზე:

$$P = k \gamma F \frac{v^2}{2g}, \quad (18)$$

სადაც k არის კოეფიციენტი;

γ — წყლის სიმკვრივე;

F — მოცემული სხეულის განივკვეთის ფართობი;

v — დინების საშუალო სიჩქარე განაახილველ ვერტიკალში;

g — სიმძიმის ძალის აჩქარება.

მან გამოთქვა, რომ მდინარეში წყლის დინებისათვის ყველაზე უფრო შეგუებულია კალაპოტის განივკვეთის ტრაპეციული ფორმა. დიუბუამ აგრეთვე პირველმა აღნიშნა, რომ მცურავი სხეულები მეტი სიჩქარით მოძრაობენ, ვიდრე მათი გამზიდი ნაკადი.

შემდეგ უნდა აღინიშნოს მ. ბაუმგარტენის (Baumgarten) შრომები. იგი დიდი ხნის განმავლობაში (1828—1846 წწ.) აწარმოებდა გამოკვლევებს მდინარეებზე — ხარჯების გაზომვას სხვადასხვა პორიზონტის დროს, ნაკადთან ერთად მოძრავი ნალექების შესწავლას და აგრეთვე ხეობის მეტეოროლოგიური და გეოლოგიური პირობების გამოკვლევას.

მდინარეებზე დაკვირვებების საფუძველზე მან დაადგინა ნატანის მოძრაობის სამი სხვადასხვა სახე:

1. წყვეტილი მგორავი მოძრაობა მდინარის კალაპოტში (როდესაც სიჩქარე დიდი არაა ან მასალა მსხვილი და მძიმეა);

2. წყვეტილი ატივტივება ნაკადის ქვედა ფენებში (დიდი სიჩქარისა და მცირე ზომის ნაწილაკების დროს);

3. ნატანის განუწყვეტელი ატივტივება. უნდა აღინიშნოს, რომ ბაუმგარტენმა უფრო ფართოდ გამოიკვლია ქვიშიანი ტალღების წარმოქმნის პროცესები, ვიდრე დიუბუამ.

ბაუმგარტენთან თითქმის ერთდროულად ამავე საკითხზე თავის დაკვირვებებს აწარმოებდა დიუპუი (Dupuit). ქვიშანარევი წყლით საცხე მბრუნავ ქიქაზე ცდების ჩატარების დროს მან ყურადღება მიაქცია, რომ წყლის ფენაში ქვიშის მარცვლები განლაგდნენ სიმალღეზე თავიანთი ზომების შესაბამისად. ბრუნვის სიჩქარის შემცირებასთან ერთად ქვიშის მარცვლები ნელნელა ეშვებოდნენ ძირს. ამ დაკვირვებებიდან გამომდინარე, დიუპუი მივიღა იმ დასკვნამდე, რომ დენად წყალში შეიძლება ატივტივებულ მდგომარეობაში იყოს ისეთი მყარი სხეულები, რომელთაც წყალზე მეტი სიმკვრივე აქვთ. ამასთანავე ატივტივებული სხეულების მაქსიმალური რაოდენობა შეესაბამება არა დინების უდიდეს აბსოლუტურ სიჩქარეს, არამედ მეზობელი ნაწილაკების უდიდეს შეფარდებით სიჩქარეს. ატივტივების ძალა ამ თეორიის მიხედვით $\frac{dv}{dz}$ სიდიდის პროპორ-

ციულია (სადაც *v* ნაკადის სიჩქარეა, *z* — სიღრმე ზედაპირიდან). მაგრამ მოცემული კალაპოტის ატივტივების ძალა შეზღუდულია, ე. ი. მდინარის განივკვეთის ერთ კვადრატულ მეტრს შეუძლია ზიდოს მყარი სხეულების მხოლოდ გარკვეული რაოდენობა.

ინჟინერი ლეშალა (Lechalas), რომელიც ამ დასკვნის წინააღმდეგი იყო, თავის ნაშრომში (1871 წ.) აღნიშნავდა, რომ დიუბუის თეორია გული-

სსმობს მდინარეში სწვრივკავლიან დინებას, რაც არ შეესაბამება ნამდვილ მოძრაობას დიდი სიჩქარეების დროს. მისი განმარტებით ატივტივება წყლის ნაწილაკების მიერ (რომლებიც უფრო ჩქარა მოძრაობენ, ვიდრე ატივტივებული სხეული) წარმოებული სისტემატური დარტყმებისა და მორევეების მოქმედების შედეგია.

გარდა ამისა, ის ყურადღებას აქცევს იმ ფაქტს, რომ სიჩქარეთა ცვლილებები დიდ მდინარეებში ვერტიკალური მიწართულებით უფრო სწრაფად წარმოებს, ვიდრე ჰორიზონტალური, რასაც ის მიაწერს სხვადასხვაგვარი ჰორიზონტალური მორევეების წარმოშობას.

დიდ ყურადღებას იბყრობს დიუბუას (Du-Boys) 1879 წ. გამოქვეყნებული შრომები. მან დამატებითი განმარტება მისცა იმ მოვლენას, რომ ზედაპირზე მცურავი საგნები მეტი სიჩქარით მოძრაობენ, ვიდრე გარემომცველი წყლის ქავლების სიჩქარეა.

ის ატარებდა ცდებს გემებზე და ამჩნევდა შემთხვევებს, როდესაც 2,75 მ/წმ სიჩქარის მქონე ნაკადში გემი 4,4მ მ/წმ სიჩქარით მოძრაობდა. ძნელი იყო ამ მნიშვნელოვანი სხვაობის მიწერა იმ გარემოებისათვის, რომ სიჩქარეთა მაქსიმუმი მოთავსებულია წყლის ზედაპირის ახლოს. მან გამოთქვა აზრი, რომ თუმცა მცურავი სხეული და მის მიერ განღვენილი წყალი ერთნაირად ემორჩილებიან სიმძიმის ამჩქარებელ ძალას, მაგრამ შემხვედრი წინალობები მათ მაინც სხვადასხვანაირი აქვთ. სხეულის მიერ განღვენილ წყალში სიმძიმის ძალის მუშაობის ნაწილი იკარგება ქავლების არასწვრივი მოძრაობის შედეგად წარმოქმნილ შიგა ხახუნზე, იმ დროს როდესაც მცურავ სხეულში სიმძიმის თანდათან აჩქარებული ძალა იხარჯება შემხები ზედაპირის ხახუნის დაძლევისა და სიჩქარეების გაღდებაზე.

მდ. რონაზე წარმოებულ დაკვირვებათა შედეგად მიღებული მონაცემების შესწავლამ დიუბუა მიიყვანა მდინარის კალაპოტის ფორმირების თეორიამდე, რომელიც გულისხმობს, რომ ეს ფორმირება დამოკიდებულია ნაკადის „წამტაც ძალაზე“, ანუ ნაკადის მიერ ნატანის გადაადგილების უნარზე. სცადა რა ამ ძალის ანალიზურად გამოსახვა, დიუბუამ მიიღო შემდეგი განტოლება:

$$F = 1000 H i, \quad (19)$$

სადაც F წამტაცი ძალაა;

H —ნაკადის სიღრმე;

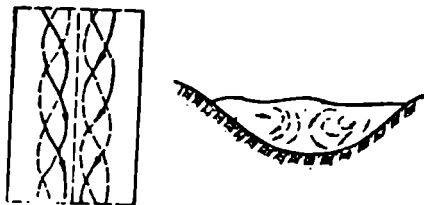
i —ნაკადის ქანობი.

ამრიგად, დიუბუას აზრით წამტაცი ძალა წარმოადგენს ორი ცვლადის — ქანობისა და სიღრმის ფუნქციას.

მდინარის ნაკადის თეორიის შესწავლის საქმის გამგრძობნი შემდგომ-

ში იყენენ: გერმანიაში — მ. მოლერი (Max Möller), საფრანგეთში — ფარგუე (Fargue) და გირარდონი (Girardon), რუსეთში — ვ. ლონტინი და ნ. ლელიავსკი.

მ. მოლერმა, რომელიც თავის დაკვირვებებს მდ. მდ. რურსა და ვე-ზერზე აწარმოებდა, ის მოვლენა, რომ ყინული და სხვა მცურავი სხეულე-



ნახ. 14. ნაკლის მოძრაობა მდინარის სწორ უბანზე.

ბი ფარვატერისაყენ მიიმართებიან და იქიდან არ გამოდიან, ახსნა იმით, რომ ზედაპირზე არსებობს წყლის ჰაველების თავშეყრილი მოძრაობა, რომელიც მიმართულია ნაპირებიდან ფარვატერისაყენ. ამასთანავე წარმოქმნილი წყლის მასის დაგროვება ზედაპირთან შეიძლება გაწონასწორებულ იქნეს მხოლოდ წყლის ნაწილაკების დამავალი მოძრაობით, რაც თავის მხრივ იწვევს წყლის ჰაველების გაშლას მდინარის ფსკერთან. ამ თვალსაზრისით მდინარე სწორ ნაწილში უნდა წარმოადგენდეს თავისი ღერძებს გარშემო მბრუნავ ორ სპირალისებრ ჰაველს, რომლებიც მოძრაობენ ერთმეორის ახლოს დინების მიმართულებით (ნახ. 14).

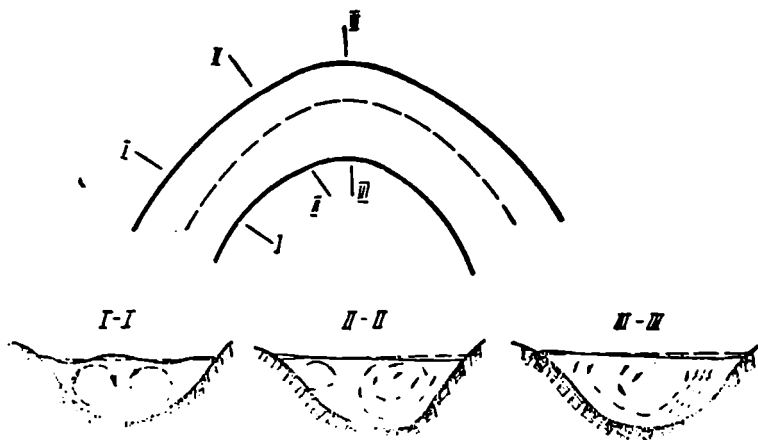
მდინარის მოხვეულში კი ცენტრიდანული ძალის გამო ზედაპირული ჰაველები იხრებიან შეზნეკილი ნაპირისაყენ და წარმოქმნიან ნატბორს. ამის შედეგად წარმოიშევა ერთი სპირალისებრი ჰაველი დამავალი დინებით შეზნეკილ ნაპირზე, რომელიც რეცხავს ამ ნაპირს და გამოარეცხვის პროდუქტები გადააქვს გამოზნეკილი ნაპირისაყენ.

მე-15 ნახ-ზე ნაჩვენებია ჰაველის მოძრაობა მდინარის მოხვეულ უბანზე და ასახულია თუ თავისი ღერძების გარშემო მბრუნავი ორი ჰაველი სწორხაზოვან უბანზე თანდათან როგორ წარმოშობს ერთ განივსპირალურ მოძრაობას, მიმართულს შეზნეკილი ნაპირიდან გამოზნეკილი ნაპირისაყენ. ამის გამო შეზნეკილ ნაპირთან, ცენტრიდანული ძალის გავლენით წარმოიშევა ნატბორი და, მაშასადამე, მდინარის ზედაპირის განივი ქანობი.

ფარგის მრავალწლიანმა გამოკვლევებმა ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 60-იან წლებში შესაძლებლობა მისცეს მას თავისი დაკვირვებებისა და გამოკვლევების შედეგები ჩამოეყალიბებინა ექვსი დებულების, ეგრეთ-

წოდებული კანონის სახით, რომლებიც განსაზღვრავენ ნაკადის სიღრმის დამოკიდებულებას მის მოხაზულობაზე გეგმაში, ე. ი. ნაკადის სიმრუდეზე.

1. ნაკადის მაქსიმალური სიღრმე მოთავსებულია შეზნეპილი ნაპირის წვეროს დაბლა დინების მიმართულებით, დაახლოებით მრუდის საშუალო



ნახ. 15. ნაკადის მოძრაობა მდინარის მოხეუელზე.

სიგრძის $1/6$ -ზე. შესაბამისად, გამოზნეპილი ნაპირის რიყის შვერილი შეიმჩნევა გამოზნეპილი მრუდის წვეროს ქვევით.

2. სიღრმე შეზნეპილ ნაპირთან მით უფრო მეტია, რაც უფრო მეტია სიმრუდე მრუდის წვეროში.

3. ნაკადის უფრო მეტი სიღრმის მისაღებად მრუდის სიგრძე უნდა მერყეობდეს 2000—500 მ შორის.

4. მრუდების თანასწორობის დროს საშუალო სიღრმე იზრდება მრუდეთა ბოლოებში მხებების გარეგანი კუთხის ზრდასთან ერთად.

5. სიღრმე იცვლება სიმრუდის შეცვლის შესაბამისად.

6. თუ მრუდი უწყვეტია (ე. ი. სიმრუდე თანმიმდევრულად იცვლება), მაშინ ფსკერის ქანობი განისაზღვრება მხების დახრილობით სიმრუდის მრუდისადმი.

ფარგის პირველი კანონი განმარტავს მდინარის კალაპოტის გრძივ გადაადგილებას, რასაც ზშირად ადგილი აქვს ვაკის მდინარეებში. მე-16 ნახ-ზე ნაჩვენებია კალაპოტის ასეთი გადაადგილების ხასიათი.

ამ ნახ-ზე ნათლადაა გამოსახული გამოზნეპილი მრუდის ა წვეროს

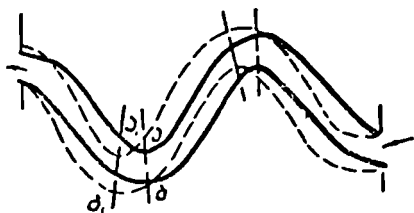
გადაადგილება ა; წერტილში ქვევით დინების მიმართულებით და შეზნე-
ქილი მრუდის ბ წვეროს გადაადგილება ბ; წერტილში.

ასევე გადაადგილებიან შეზნექილი და გამოზნექილი მრუდების რი-
ყეები და ნაღვარეგები.

წვეროების გადაადგილებას თან ახლავს ნაპირთა შუალედური უბნების
ცვლილებებიც.

ამ დასკვნების სისწორე დადასტურებულ იქნა ინჟინერ კლოველის
(Clovel) მიერ მდ. გარონაზე ჩატარებული საინტერესო გამოკვლევებით.

მან ერთიმეორეს შეადარა
სხვადასხვა დროს გადაღებულა
(1780 — 1840 წწ. პერიოდში) მდ.
გარონის კალაპოტის გარკვეული
უბნების გეგმები, სადაც მდინა-
რეს სამ ადგილას ჰქონდა სიმრუ-
დე. ამის შედეგად მან დაადგინა
ამ მრუდების შემდეგნაირი გადა-
ადგილება ქვევით დინების მიმარ-
თულებით:



ნახ. 16. ნაკადის კალაპოტის ცვლილება.

პირველი წვერო — ზედა დინების მიხედვით 575 მ-ით;

მეორე " " " 622 მ-ით;

მესამე " " " 1025 მ-ით.

ეს მაგალითი ნათლად ამტკიცებს მდინარის მრუდი უბნების მოძრა-
ობას გრძელი მიმართულებით ზევიდან ქვევით.

ამით უნდა აიხსნას მდინარეების მიერ „ქალაქის დატოვების“ ცნო-
ბილი მოვლენები. ეს ყველას არაბუნებრივი, უცნაური და შემთხვევითი
მოვლენა ჰგონია. თითქოს მდინარეები ყველგან ადგილზე რჩებიან, მაგ-
რამ სინამდვილეში ასე არ არის; ისინი იცვლიან კონფიგურაციას გეგმაში,
შორებიან ან უახლოვდებიან ქალაქებს, რაც შესამჩნევი ხდება, თუ მათ
მდებარეობას მუდმივ წერტილებს — შენობებს და სხვ. შევადარებთ.

ინჟინერმა ჟირარდონმა მდ. რონის რეჟიმის გულმოდგინე გამოკვლე-
ვის საფუძველზე წყლით მიმოსვლის საერთაშორისო კონგრესზე 1894 წ.
თავის მოხსენებაში მისი მუშაობის შედეგები გამოხატა ქვემოთაღნიშ-
ნულ ტექსტებში:

1. წყლის ნაკადს თხიერ ჩამონადენთან ერთად მოაქვს მყარი ნივთი-
ერებანი ნატანის სახით, რომელთა რაოდენობა დამოკიდებულია წყალ-
შემკრები აუზისა და კალაპოტის შემცველი გრუნტების გარეცხვისადმი
წინააღმდეგობაზე. ეს რაოდენობა, ყველა დანარჩენ თანაბარ პირობებში, იზრ-
დება მდინარის ხარჯისა და ქანობის გაღივებასთან ერთად. მყარი ნაწი-
ლაკების მოძრაობა წარმოებს წყლის დინებასთან ერთად, მაგრამ ეს მო-

ძრობა წყვეტილია, ე. ი. სანამ ნატანი წყალმიღებამდე (ზღვა, ტბა) მი-
აღწევდეს, გზადაგზა პერიოდულად სწყევტს მოძრობას.

2. წყლის ნაკადების მოხაზულობა გეგმაში კლანკილია — მრუდხა-
ზოვანი.

3. მდინარის განივკვეთში სიღრმეები არათანაბრადაა განაწილებული
და ისინი დამოკიდებულია კალაპოტის გარეცხვისადმი წინალობაზე. კალა-
პოტში არსებული ყველა გარეცხვის მხრივ მდგრადი ზღუდე და აგრეთვე
შეზნექილი ნაპირები ხელს უწყობენ სიღრმეების წარმოქმნას და ინარჩუ-
ნებენ მათ თავის ახლოს.

4. მდინარის გრძივი პროფილი შუაწყლის (стрежень) გაყოფით
წარმოადგენს ქანობის ტეხილ ხაზს, რომელიც გაპირობებულია მდინარის
კალაპოტის გარეცხვისადმი წინალობის გამწვევი კლდოვანი გრეხილებით
ან დიდი შენაკადებით.

5. მდინარეთა კალაპოტი შედგება მთელი რიგი ნატბორებისაგან, რომ-
ლებიც გაყოფილია ჩქერებით, რის გამო წყლის ზედაპირის გრძივ პრო-
ფილს კიბის ფორმა აქვს, რომლის საფეხურები შეესაბამებიან ნატბო-
რებს, ბიჯები კი — ჩქერებს. ეს ფორმა მით უფრო ნათლადაა გამოსახუ-
ლი, რაც უფრო მეტია წყლის ნაკადის ზედაპირის საერთო ქანობი. ეს
განსაკუთრებით აშკარაა დაბალი დონის დროს. ხარჯის გადიდებასთან
ერთად ის გლუვდება.

6. წყალდიდობის გავლის დროს იცვლება დარიყული ნატანის ფორმა.
რამდენადაც მდგრადია ნაპირები, იმდენად უფრო შეზღუდულია ფორმის
ცვლილებანი, ნატბორები და ჩქერები ადგილზე რჩება; იცვლება მხო-
ლოდ დარიყული ნატანის ფენა.

რა მდგომარეობაში იყო რუსეთში მდინარეების გამოყენებისა და მა-
თი რეჟიმის შესწავლის საქმე.

პეტრე I-ის ინიციატივით დაწყებულ და ნაწილობრივ განხორციელე-
ბულ იქნა ხელოვნური წყალსავალი გზების მთელი რიგი პროექტები. საკ-
მარისია დავასახელოთ ვიშნეეოლოცკის სისტემის მშენებლობა, რომელიც
შეიცავდა მთელ რიგ რაბებს, კაშხლებსა და წყალსაცავს.

მარის წყალსავალი გზის (ამჟამად ვოლგა-ბალტიის) პირველი გამოკვ-
ლევები და ლადოგის არხების მშენებლობა თვით პეტრე I-ის პირადი მო-
ნაწილეობით ჩატარდა. მანვე დაისახა მიზნად წყალსავალი გზით მდ. მდ.
ვოლგისა და დონის შეერთება.

XIX საუკუნის შუა წლებში რუსეთს ხელოვნური წყალსავალი გზების
საკმაროდ დიდი ქსელი ჰქონდა, რომელთა სრულყოფილად გამოყენება მო-
ითხოვდა მდინარეთა რეჟიმის შესწავლას, ე. ი. მონაცემების დაგროვებას,
მათ სისტემატიზაციას, პრაქტიკის თანდათანობით გამდიდრებას თეორი-
ული საფუძვლებით.

XIX საუკუნის დამლევს შინანაოსნობის შემდგომი განვითარების გაზრდილ მოთხოვნილებებსა და მცირეზომიანი გემებიდან დიდ და უფრო ღრმად ჩამჯდარ ხომალდებზე გადასვლასთან დაკავშირებით საჭირო შეიქმნა სანაოსნო მდინარეების ფარვატერის გასაუქმობესებელი სამუშაოების წარმოება. მრავალმა გამოჩენილმა ინჟინერმა გულმოდგინედ დაიწყო მდინარის ნაკადის, ნატანის მოძრაობისა და კალაპოტის ფორმირების მექანიზმის შესწავლა. წყალსავალი გზების დარგში მომუშავე სპეციალისტების მიერ ყრილობებზე ბევრი მოხსენება კეთდებოდა არა მარტო წყალსავალი გზების გაუმჯობესების ტექნიკის შესახებ, არამედ ნაკადის თვისებების მეცნიერულ გამოკვლევებზეც, გამასწორხაზებელ, ნაპირსამაგრ და სხვა სახის ნაგებობათა უფრო რაციონალური დაპროექტებისათვის. ამ ეპოქაში საფუძველი ჩაეყარა მოძღვრებას კალაპოტშიგა პროცესების შესახებ, რაშიც რუსი ჰიდროტექნიკოსების როლი მეტად დიდია.

გამასწორხაზებელი, ნაპირსამაგრი, მიმმართველი და ყველა სხვა სახის ღონისძიება მოითხოვდა კალაპოტის წარმოქმნის მექანიზმის ღრმა ცოდნას. არც ერთი მარეგულირებელი ნაგებობის დაპროექტება არ შეიძლება, თუ არ ვიცით რა ზემოქმედებას ახდენს ეს ნაგებობა თვით ნაკადის სტრუქტურაზე, უკანასკნელი კი რეცხვად კალაპოტზე. სწორედ ამ გარემოებამ განაპირობა რუსი ინჟინერ-ჰიდროტექნიკოსების ინტერესი, რომლებმაც იმ დროს მრავალი ახალი იდეა წამოაყენეს მონოგრაფიების, სტატიებისა და მოხსენებების სახით.

იმ დროის რუს ჰიდროტექნიკოსთა შორის განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს ვ. ლოხტინს (1849—1919 წწ.), რომელშიც შეთავსებული იყო დიდი ჰიდროტექნიკოს-პრაქტიკოსის თვისებები და ღრმა მეცნიერის ინტუიცია. მან შეძლო მდინარეებზე დაკვირვებების საფუძველზე გამოეყვანა საერთო თეორიული დამოკიდებულებანი, რომელთაც დღესაც არ დაუკარგავს თავისი მნიშვნელობა. ვ. ლოხტინის მონოგრაფია „მდინარის კალაპოტის მექანიზმის შესახებ“ (1897). წარმოადგენს კალაპოტშიგა ნაკადის მთელი თანამედროვე თეორიის საფუძველს [25].

ამ მონოგრაფიაში მან ვრცლად გააშუქა ორი საკითხი: მდინარის კალაპოტის მდგრადობა და ხარჯებისა და ღონეების ცვლილების გავლენა ნატბორებისა და ჩქერების ფორმირებაზე. ფრანგმა ინჟინერმა ფარგმა თავის მონოგრაფიაში „მოძრავფსკერიანი მდინარის კალაპოტის ფორმა“ ამ საკითხთან დაკავშირებით მოგვცა ემპირიული დამოკიდებულება ნატბორებისა და ჩქერებისათვის, მაგრამ დასავლეთ ევროპის მდინარეების მაგალითზე, რაც მთლიანად მისაღები არ იყო რუსეთის პირობებისათვის. რუსეთის მდინარეები დასავლეთ ევროპის მდინარეებისაგან განსხვავდებიან არა მარტო თავიანთი სიმძლავრით, არამედ ღონეებისა და ხარჯების რყევის დიდი ამპლიტუდით. ვ. ლოხტინი დიდხანს მუშაობდა მდ. ვოლგის სა-

ნაოსნო პირობების გაუმჯობესებაზე, მაგრამ იცნობდა სხვა მდინარეებსაც. მან მოკვცა ნატბორებისა და ჩქერების ფორმირების შექანიზმი სწორედ ხარჯების ცვლილების დიდი ამპლიტუდის პირობებში. ის იყო თავისი საქმის დიდი ენთუზიასტი, თეორიული შაბლონების მოწინააღმდეგე და რუსეთის მდინარეების თავისებურებათა შესწავლისა და მდიდარი გამოცდილებას განზოგადების თავგამოდებული ქომაგი.

იგი წერდა:

„ტუილად კი არ დატურადა ამდენს რუსი ხალხი თავის მდინარეებზე, ტუილად კი არ ასხამდა მათ ხობტას თავის სიმღერებში. ხობტას ასხამდა და უყვარდა, უყვარდა და ეგუებოდა მათ, აკვირდებოდა მათ, როგორც რაღაც მშვენიერს, ცოცხალს, აზრიანს, უფიქრდებოდა მათი მოვლენების უცნაურ სირთულეს“

ამრიგად, არის სამდინარო ხელოვნების რუსული სკოლა, სკოლა მდიდარი, რომელიც ღრისაა შესწავლისა და რომელიც ამისათვის უხვ ნაყოფს გვიპირდება. აი ეს, რუსული სამდინარო სკოლა, უნდა შეისწავლოს რუსმა პილროტექნიკოსებმა, როდესაც ისინი სამშობლოში დაბრუნდებიან მათი საყვარელი საერთაშორისო კონგრესებიდან“.

მას სძულდა მეცნიერება, რომელიც უგულვებელყოფდა პრაქტიკას და არ იყენებდა მის მეტად მდიდარ და საჭირო მასალას.

„მაგრამ არ შეიძლება სინანული არ გამოვთქვა, რომ ასეთი გრანდიოზული საგულისხმო ფაქტები უგულვებელყოფილია პროფესიული მეცნიერების მიერ...“

ღარიბი სოფელი, დასახლებული უმთავრესად ვოლგისპირელი ლოცმანებითა და ზატროსებით. გრძელი ზამთრის საღამო. განიერი ქოხი, საესე მერხებზე ჩამომსხდარი დაბრახილი წვეროსანი ლოცმანებით, რომლებიც მოსულან საღამოს ბაასისათვის. ცეცხლი ჩამქრალია, რომ სიბნელეში უფრო კარგად იაზროვნონ. ისინი მოდიან, რომ გაიმეორონ თავისი ნატბორის ფარგატერის მდებარეობა, დაწვრილებით იგონებენ საღ, როგორია წყალი, როგორია განლაგებული ქეიშა, კუნძულები, ისარები და როგორ აქვთ ისინი ლოცმანებს დანიშნული. ჩვენს ინჟინრებს რომ ყური დაადგებინათ მათი საუბრისათვის, დიდ მასალას შეიძენდნენ თავიანთი გეგმების შესავსებად, გეგმების, რომლებიც მდიდარია ტექნიკური მონაცემებით, მაგრამ ზედმიწევნით ლაკონურია და თითქმის ღარიბია თავისი სასიცოცხლო ინტერესის მხრივ.

და, საერთოდ, სასიცოცხლო ინტერესით ბევრს მოიგებდა მთელი ჩვენი სამდინარო ტექნიკა, რომ ის არ იფიქრებდეს, რომ საზღვარგარეთულ ლიტერატურაში ექსკურსიების გარდა შეიძლება ექსკურსიების გაკეთება ჩვენს მშობლიურ ქვეყანაში, რომელსაც ჯერ კიდევ კარგად ვერ ვიცნობთ“.

თავის ნაშრომში ინჟინერმა ლოხტინმა აღნიშნა, რომ ყოველი მდინარე წარმოიქმნება სამი ძირითადი, ერთიმეორისაგან დამოუკიდებელი ელემენტის შეთანწყობით: ა) წყალუხვობის, რომელიც განისაზღვრება ატმოსფერული და სანიადაგო პირობებით, ბ) მდინარის ქანობითა და გ) მდინარის კალაპოტის მეტნაკლები რეცხვადობით ან მდგრადობით, რომელიც გაპირობებულია მდინარის კალაპოტის შემცველი ფენების თვისებებით. ეს სამი ელემენტი, მისი აზრით, სავსებით განსაზღვრავს მდინარის ხასიათს.

ვ. ლოხტინი ხაზს უსვამს, რომ კალაპოტის მდგრადობისათვის გადამ-

წყვეტი მნიშვნელობა აქვს წყალდიდობის პერიოდს, რომელიც ხასიათდება დიდი სიჩქარეებითა და ნატანის სიმრავლით.

ლოხტიანი ყველა მდინარეს ჰყოფს ორ კატეგორიად — მდგრადი და არამდგრადი კალაპოტი. დიდი ქანობის სუსტი გრუნტებისაგან შემდგარი ფსკერისა და ნაპირების დროს მდინარეებს ახასიათებს მუდმივად სახეცვლადი, მოარული კალაპოტი. ასეთ მდინარეებში არ შეიძლება იყოს ცალკეული, მდგრადი ჩქერები და მათი კალაპოტი დინამიკურ მდგომარეობაშია, ნაპირების მუდმივი გარეცხვის, ნატანის მასების მუდმივი მოძრაობისა და თვითონ კალაპოტის გადაადგილების პირობებშია. ასეთი მდინარეების გრძივი პროფილი უახლოვდება სწორ ხაზს ან მდოვრე მჭრულს (плавная кривая) და დამახასიათებელია არამდგრადი კატეგორიის წყალღენებისათვის. თუ, პირიქით, მდინარის კალაპოტის შემცველი გრუნტი საკმაოდ მდგრადია, ქანობი კი — მცირე, მაშინ წყალდიდობის დროსაც კი ნატანი თავს იყრის იმ ადგილებში, სადაც სუსტდება დინების ძალა. ასე, მაგალითად, კალაპოტის მოსახვევი წარმოადგენს დაბრკოლებას აღიდებული წყლის დინებისათვის და იწვევს შეტბორვას, ამასთანავე ქანობის გადიდებას ქვევით და შემცირებას ზევით. ამრიგად, ადგილი აქვს ქანობების ერთგვარ შეყურსვას ცალკეულ პუნქტებში. ნატბორების ზონაში იზრდება წყლის ზედაპირის ქანობი, რის შედეგადაც ხდება ნატანის გამოტანა და დარიყვა ჩქერებში. პირიქით, წყალმცირობის (межень) დროს ხდება ამ დაქანებების კონცენტრაცია ჩქერებზე და აღიდებული წყლის დროს დაგროვილი ნატანის გადატანა ნატბორებში. ამრიგად, წყლის პერიოდული აწევ-დაწევა იწვევს კალაპოტში ნალექის მოძრაობას, მის თანდათანობით გადაადგილებას ქვევით დინების მიმართულებით; ამის შედეგად კალაპოტი ინარჩუნებს გარკვეულ წონასწორობას და წარმოქმნის საფეხურებიან ქანობს ცალკეული ნატბორების სახით, რომლებიც ერთიმეორისაგან გაყოფილია ჩქერების ციცაბო დაფერდებით.

ასეთ მდინარეებს ლოხტიანი მიაკუთვნებს მდგრადი მდინარეების კატეგორიას. პრაქტიკული ცდების საფუძველზე ლოხტინმა წამოაყენა მდინარის კალაპოტის მდგრადობის ცნება და პირველმა შეეცადა მიეცა მისთვის რაოდენობრივი შეფასება. მდგრადობის კოეფიციენტად მან მიიღო ნატანის ნაწილაკის საშუალო დიამეტრის შეფარდება მდინარის კლომეტრული ვარდნის საშუალო მნიშვნელობასთან

$$\frac{d}{h}, \quad (20)$$

საიდანაც ჩანს, რომ მდინარის კალაპოტის მდგრადობა პროპორციულია ნატანის ნაწილაკების წირული განზომილებისა (d) და უკუპროპორ-

ციულია ქანობის (h). (d გამოისახება მილიმეტრებში, h კი — მეტრებში კილომეტრზე).

მან განიხილა რიგი მდინარეებისა და განსაზღვრა მათთვის კალაპოტის მდგრადობის კოეფიციენტი (ცხრილი 5).

რასაკვირველია, ასეთი სახით ამ კოეფიციენტს არ შეუძლია ზუსტად ასახოს მდინარის კალაპოტის მდგრადობა. ამ ორი ელემენტის გარდა არის სხვა ფაქტორებიც, რომლებიც გავლენას ახდენენ მდგრადობაზე, მაგრამ ეს იყო ლოხტინის პირველი ცდა და ამიტომ ის ყურადღების ღირსია.

უნდა ითქვას, რომ თვითონ ლოხტინი გრძობდა ამას და თავის ნაშრომში აღნიშნავდა: „როდესაც მდინარის მდგრადობის ზემოაღნიშნული კოეფიციენტების განსაზღვრაზე ვლაპარაკობთ, უნდა დავეუბნოთ, რომ მარტო ქვიშის ნაწილაკების შეპირისპირება ქანობის სიდიულთან, რასაკვირველია. ვერ ამოწურავს ამ მხრივ მოქმედი ყველა გარემოების ერთობლიობას. კალაპოტის შემადგენლობაში საკუთრივ ნატანის გარდა შედის კიდევ ნაპარები, რომელთა მეტ-ნაკლები სიმტკიცეც აგრეთვე გავლენას ახდენს შეფარდებით მდგრადობაზე“. გარდა ამისა ის სთვლიდა, რომ ამაზე თავისი გავლენა შეიძლება მოახდინოს აგრეთვე გაძლიერებული დინების მოქმედების ხანგრძლიობამ. ასე, მაგალითად, ერთ შემთხვევაში თუ მაღალი წყალი მიედინება მდინარეში მხოლოდ ორი კვირა, მეორე შემთხვევაში კი — ორი თვე, ცხადია ნაკადის მოქმედება კალაპოტზე ამ ორ შემთხვევაში სრულიად სხვადასხვა იქნება.

მაგრამ, მიუხედავად ზემოთქმულისა, ძირითად და მუდმივ მოქმედ ელემენტებად ის სთვლიდა მდინარის ქანობისა და კალაპოტის ნატანის ნაწილაკების ზომებს, რომელთა ურთიერთდამოკიდებულება განსაზღვრავს ამ მდინარის დამახასიათებელ თვისებებს.

ლოხტინმა თავისი გარკვეული აზრი გამოთქვა მდინარეთა მდგომარეობის გაუმჯობესების შესახებ. მან ცალ-ცალკე განიხილა ღონისძიებები მდგრადი და არამდგრადი მდინარეებისათვის. მისი აზრით, მდგრად მდინარეებზე ჩატარებულმა გასაუმჯობესებელმა ღონისძიებებმა არ უნდა დაარღვიოს ის წონასწორობა, რომელიც დადგენილია ბუნებრივად, ე. ი. ნატბორებისა და ჩქერების მონაცვლეობა. მაგალითად, თუ გამოყენებული იქნებოდა სიგანის შემავიწროებელი ხელოვნური ნაგებობები, ამით ლიკვიდირებული იქნებოდა ნატბორებისა და სწრაფი ჩქერების სისტემა, გაუქმებული იქნებოდა გრძივი პროფილის საფეხურებიანი სახე წყლის დამრეცი და ციკაბო ქანობების მონაცვლეობით და მდინარის კალაპოტი მიიღებდა ერთგვაროვანი არხის სახეს, ერთნაირი სიგანით, ერთნაირი საშუალო ქანობითა და დინების სიჩქარით. ამ საშუალო სიჩქარეს, რომელიც

მდინარისა და სიწყის აღდების ადგილის დასახელება	გატრილი ნატანის შონა გრაიბში						სულ შოელი სიწყის წონა გ-ში	ნატანის გაწეკეთის საშუალო სიღრმე მ-ში	მიდინარის საშუალო ვარდნა მ-ში კმ-ზე	კოეფიციენტი სიღრმე (8 : 9)
	1/30 სმ		1/12 სმ		1/8 სმ					
	2	3	4	5	6	7				
ვისლა იფანგორიდან დასავლ. ბუვი ბრეტ-ლიტვის დნარი კრემენუკოან	43.82	262.04	40.20	7.50	7.17	353.57	0.546	0.1475	1.85	
დონი კურმითარის ჩქერზე	28.02	280.32	50.10	10.57	1.18	370.19	0.348	0.0415	2.00	
ოკა კოლომნასთან	6.92	245.12	61.00	8.50	1.97	323.51	0.436	0.0318	6.85	
ვილგა იურევისკთან	—	44.47	147.75	132.90	35.97	391.09	0.735	0.0276	13.31	
ვილგა სოკოლის ჩქერზე	—	145.17	145.46	67.00	24.77	382.50	0.602	0.0211	14.26	
ვილგა ტელონის ჩქერზე	10.12	149.67	79.00	78.00	90.40	407.69	0.471	0.0211	11.26	
ვილგა უკრაინის ჩქერზე	10.12	210.47	112.00	27.68	8.07	368.46	0.438	0.0253	8.65	
ნემანი გორდნოსთან	41.74	306.67	4.68	—	—	353.09	0.301	0.0253	6.14	
დასავლეთი დვინა დვინსკთან	—	—	—	—	—	—	7.00	0.1535	22.50	
დნესტრი სიოიოთან	—	—	—	—	—	—	7.500	0.1254	70.00	
							15.60	0.0945	83.00	

შენიშვნა: 1. მდ. ნემანის, დასავლ. დვინისა და დნესტრისათვის, რომელთაც ქვიანი ხატანი აქვთ, მხედველობაში მიღებულია მხოლოდ მსხვილი ნაწილაკები, რომლებიც დარჩენილია წვირილი ქვიშისა და ლამის გაყინის შემდეგ და რომლებიც ასეთი სახის მდინარეებში აკუმულირდებიან მხოლოდ სიცხარულს და არ შეიძლება გთავალაქწინებულ იქნეს კალკატის წინაღობის დაბასათების დროს. 2. კალკატის მდგრადობის კოეფიციენტი გადაყვანილია მეტრულ ზომებში, რის გამოც მისი რიცხობრივი გამოსახელებანი იჩქერა მეტრა.

თავისი სიდიდით გაცილებით ნაკლები იქნებოდა, ვიდრე წინანდელი გაძლიერებული და ნატანის წინაღობით გაწონასწორებული სიჩქარე, ძალა არ ექნებოდა დროულად წაელო ქვევით მდინარის მიერ მოტანილი ნატანი, რის გამოც ეს უკანასკნელი აუცილებლად დაიწყებდა დაგროვებას კალაპოტში, დაარღვევდა წონასწორობას და ბოლოს და ბოლოს თანდათან მიიყვანდა მდინარეს წინანდელ, საფეხურებიანი სახის გრძივ პროფილამდე.

აქედან გამომდინარე, ლოხტინი დაასკვნის, რომ თუ კალაპოტის ზელოვნური ნაგებობებით გამაგრების ხერხი მიზანშეწონილი და აუცილებელია არამდგრადი ხასიათის მქონე მოარული მდინარეებისათვის (რომელთაც არა აქვთ ნატბორებისა და ჩქერების სისტემა), იგი სრულიად მიუღებელი და საზიანოა მდგრადი მდინარეებისათვის. მისი აზრით, ასეთ მდინარეებზე სწორედ ჩქერები წარმოადგენენ აუცილებელ იარაღს მდინარის მიერ ნატანის გადატანის საქმეში.

ლოხტინი შესაძლებლად სთვლის მხოლოდ ისეთ ღონისძიებათა ჩატარებას ცალკეულ უბნებზე, რომლებიც გამოიწვევს საშუალო ღონის წყლის მოძრაობის სიჩქარის ერთგვარ გადიდებას, რომელიც არ დაარღვევდა ჩქერებისა და ნატბორების არსებულ სისტემას.

ლოხტინმა იცოდა, რომ მდინარის ნაკადის ყველა კანონი არ იყო გამოვლინებული, რომ ნაკადის ძალის უკეთესად გამოყენებისათვის საჭირო იყო მისი შინაგანი კანონების სისტემატური შესწავლა. ის აზრობდა, რომ ბუნებამ თვითონ მიაღწია მას, რაც სურდა — დააწესა წონასწორობა კალაპოტში წყლის დინებასა და ნატანის მოძრაობას შორის. მას სრულიადაც არ ჰქონდა მხედველობაში ქვიშის განლაგება ისე, როგორც ეს ჩვენ გვინდა, და სრულიადაც არ ზრუნავს იმაზე, რომ რაც შეიძლება ჩვენთვის უფრო ხელსაყრელად იქნეს გამოყენებული ძალის ის უშრეტე წყარო, რომელსაც მდინარის დინება შეიცავს.

სხვადასხვა ხასიათის მდინარეთა დინების სრული და მრავალსახოვანი მოვლენები შეიძლება ნათელი გახადოს მხოლოდ შემდგომმა გამოკვლევებმა და დაკვირვებებმა.

„რაც შეიძლება ნაკლები ფორმულები და მეტი დაკვირვებულობა, აი ის სურვილი, რომელიც თავისი თანამედროვე მდგომარეობის მიხედვით შეუძლია გამოთქვას მდინარეთა შესწავლის საქმეში სპეციალისტების მიმართ, თავისი შემდგომი განვითარების ინტერესებისათვის“ — წერს ლოხტინი.

ლოხტინთან ერთად უნდა აღინიშნოს მეორე გამოჩენილი რუსი ჰიდროტექნიკოსის ნ. ლელიავსკის დამსახურება (1853—1905 წწ.) მდინარეთა რეჟიმის შესწავლის საქმეში. მან თავისი გამოკვლევები მიუძღვნა მეორე დიდ პრობლემას — სიჩქარეთა განაწილებას ნატბორებსა და ჩქერებზე

ჩვეულებრივი ხარჯების დროს, რასაც დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა ჰავლის მიმმართველი დამბების შერჩევისას.

მისი თეორიის ძირითადი არსი იმაში მდგომარეობდა, რომ მან დაინახა ნაკადში ჰაველების ცირკულაციური მოძრაობა. ის ლაპარაკობდა „შემხვედრი“ დინების შესახებ ნატბორებზე და „მარაოსებურის“ შესახებ — ჩქერებზე. მას მხედველობაში ჰქონდა ის გარემოება, რომ ნატბორზე, რომელიც ვაკის მდინარეებზე, როგორც ცნობილია, თითქმის ყოველთვის შეესაბამება მდინარის მოხვეულობას გეგმაში, ჩვენ გვაქვს შეყურსული მოძრაობა, რომელიც ხელს უწყობს სიღრმეთა წესიერ განლაგებას. ჩქერებზე კი, სადაც ერთი მიმართულების ცირკულაცია გადადის მეორე მიმართულების ცირკულაციაში, უნდა იყოს ცალკეული ჰაველების შედარებით უწესრიგო განაწილების შუალედური არე. ეს გარემოება განაპირობებს იმას, რომ ნატბორზე ჩვენ გვაქვს შეყურსული გარეცხვა და ფარვატერის სწორი მოხაზულობის შენარჩუნება, ჩქერზე კი — გაფანტული, შესუსტებული ჰაველები, რომლებიც ხელს უწყობენ ნატანის უწესრიგო დალექვას ნაკადის მთელ სიგანეზე.

თუ თავის დაკვირვებებში ლოხტინი განსაკუთრებულ ყურადღებას უთმობდა მდინარის კალაპოტზე გაზაფხულის წყლების მოქმედების შესწავლას, ლელიავსკიმ ზედმიწევნით და ღრმად შეისწავლა მდინარის ნაკადის კალაპოტზე მოქმედება საშუალო დონის პერიოდში.

მდინარის ნაკადის თეორია მან ჩამოაყალიბა თავის მოხსენებაში „მდინარის დინებისა და მდინარის კალაპოტის ფორმირების შესახებ“ VI საერთაშორისო კონგრესზე ჰაავაში 1894 წ.

ამ ნაშრომში ნ. ლელიავსკი აღნიშნავს, რომ მდინარეების კალაპოტში არსებობს ორი დინება: ერთი — ზედა, შემხვედრი, თავშეყრილი, სოლისებრი, რომელიც ფარვატერში ეშვება ფსკერამდე და აკეთებს მასში გრძივ ჩაღრმავებებს. იგი თავისი მოქმედებით შეიძლება მივამსგავსოთ სახნისს, რომელიც ღარავს ფსკერს და გვერდებზე ყრის ნათხარ გრუნტს; მეორე — ფსკერული, განშლადი, მარაოსებრი, რომელიც მიმართულებას ღებულობს ნაპირებისაკენ. ამ დინების მოქმედებით ფარვატერში ამოთხრილი და შეზნეპილი ნაპირიდან გამორეცხილი გრუნტი გადაიტანება მეორე მხარეზე, სადაც იგი ილექება გამოზნეპილ ნაპირთან. ნაკადში წარმოებს წყლის ნაწილაკების მუდმივი გადაადგილება. ეს ნაწილაკები ზედაპირიდან თანდათან ეშვებიან ქვევით და მიყვებიან ფსკერს თითქმის პარალელურად, შემდეგ ხვდებიან ფსკერული დინების სფეროში, ეჭახებიან ფსკერს და კარგავენ მოძრაობის დროს შექმნილ ცოცხალ ძალას. ამ დროს ისინი ხან აიწევენ ზევით, ხან ისევ ეჭახებიან ფსკერს, თანდათანობით უხვევენ ნაპირისაკენ და ბოლოს და ბოლოს ხვდებიან წყლის ზედა ფენებში, საიდანაც ხელახლა მიემართებიან ფარვატერისაკენ. რაც უფრო

მეტია ნაპირის მოხვეულობა, მით უფრო მეტია ამ ნაწილაკების მიერ მოძრაობის დროს შექმნილი ცოცხალი ძალა და მით უფრო მეტია ფსკერის გარეცხვა. ამიტომ სიღრმე ნატბორებში სიმრუდის რადიუსის უკუპროპორციულია; ამის შედეგად დიდი სიღრმეები უშუალოდ შეზნექილი ნაპირის მეტად მრუდი ნაწილის პირდაპირ კი არ არის განლაგებული, არამედ რამდენადმე ქვევით, დინების მიმართულებით, იქ, სადაც წყლის ნაწილაკები თავისი მაქსიმალური ცოცხალი ძალით აღწევენ მდინარის ფსკერამდე. წყლის ნაწილაკების ასეთი მუდმივი გადაადგილების გამო, ლელიავსკის აზრით, ხდება შენაკადების მღვრიე წყლის შერევა მდინარის წყალთან, რის ახსნაც არ შეიძლება ჰავლების პარალელური მიმართულებით მოძრაობის დროს.

ლელიავსკის აზრით დიდი განსხვავება დრეკად, მყარ და თხიერ სხეულებს შორის, რომელიც მქლავნდება მოძრაობისა და დარტყმის დროს, იმის შედეგია, რომ პირველ მათგანში ნაწილაკების ურთიერთგანლაგება და მანძილი მათ შორის არც მოძრაობის და არც დარტყმის დროს არ იცვლება. ყველა ნაწილაკი შემოხაზავს პარალელურ, კონკრეტულ ტრაექტორიებს, მაშინ როდესაც თხიერი სხეულების მოძრაობისას ადგილი აქვს ნაწილაკების გადაადგილებას თხიერი სხეულის შიგნით, რაც იწვევს შიდა დამოუკიდებელ დინებებს. ამაზე იხარჩება დიდი მარაგი მექანიკური ენერჯისა, რომელსაც ნაწილაკი იძენს სიმძიმის ძალის მოქმედების გამო. განსაკუთრებით დიდია ამ ცოცხალი ენერჯის დანაკარგი თხიერი სხეულების მყართან შეჯახებისას, ვინაიდან ის იხარჩება ჰავლების გაყოფასა და დარტყმებზე.

„იმისათვის, რომ ჰიდროდინამიკა ზუსტი მეცნიერება გახდეს, არ კმარა მარტო განყენებული მათემატიკური გამოკვლევები, როგორც ჩაატარეს ნივიემ, გელგოლცმა და მისმა მომდევრებმა, ბუსინესკომ და სხვა მრავალმა. უნდა ვღიაროთ, რომ ჰიდროდინამიკა, ისევე როგორც ფიზიკა, ცლებზე დამყარებული მეცნიერებაა და ის თავის დასკვნებს საფუძვლად უნდა უდებდეს არა ნებისმიერ დაშვებებს, არამედ მონაცემებს, რომლებიც მიღებულია უშუალო დაკვირვებებისა და ცდების შედეგების განზოგადებით“ — წერდა ლელიავსკი.

ლელიავსკის აზრით, თავმოყრილი დინება შეზნექილი ნაპირებისაკენ მიიმართება არა ცენტრიდანული ძალის მეშვეობით, არამედ ძირითადად იმას გამო, რომ შეზნექილი ნაპირი მუდამ ზვდება საფარვატერო დინებას, რომელიც ჰკვეთს შეზნექილი ნაპირისაკენ მიმართულ ახალ ჰავლებს და ჰიდრაულიკური წნევის გამო ეშვება ქვევით, იწვევს ფსკერის გარეცხვას. პირიქით, როდესაც ჰავლები არ კვეთენ შეზნექილ ნაპირს, იწყება წყლის შეყურსვის შესუსტება, მცირდება ჰავლების თავმოყრის კუთხე და ბოლოს ჰავლები იწყებენ გაშლას სხვადასხვა მიმართულებით. ჰავლების თავმოყრისა და გაშლის პროცესი დადგენილია ლელიავსკის მიერ გამო-

გონებული „წყალქვეშა ფლუგერით“ ანუ „მდინარის ჰავლების საზომით“. ამ ხელსაწყოთი, რომელიც უჩვენებს ჰავლის მიმართულებას და სიჩქარის სიდიდეს წყლის ნაკადის გამოსაკვლევ წერტილში, უამრავი დაკვირვება იქნა ჩატარებული, რომლებმაც დაადასტურეს ლელიავსკის თეორიის ძირითადი დებულებანი.

ინჟინერ ლელიავსკის თეორიამ დიდი ინტერესი გამოიწვია ჰააგის საერთაშორისო კონგრესზე. იმ დროის გამოჩენილმა ინჟინერმა ფარგმა აღნიშნა, რომ ეს თეორია წარმოადგენს რევოლუციას ჰიდროტექნიკის დარგში; ინჟინერმა ჟირარდონმა აღნიშნა, რომ ლელიავსკის ცდები უფრო მეტი სიზუსტითაა ჩატარებული, ვიდრე მისი საკუთარი.

ეხებოდა რა მდინარეთა ნაოსნობის გასაუმჯობესებელ ღონისძიებებს, ლელიავსკი იმ აზრის იყო, რომ ხელოვნური ნაგებობანი არ უნდა ავიწროვებდნენ კალაპოტს, როგორც ამას გვიჩვენდა ფარგი. ისინი თავიანთი განლაგებით უნდა იწვევდნენ მდინარის ჰავლების გადახვევას და თავმოყრილი დინების წარმოშობას, იე რომ ფსკერის გარეცხვა და გემების სავალი გრძივი კვლების წარმოშობა კალაპოტის შევიწროვების გარეშე ხდებოდეს. რუსეთის მდინარეებს ახასიათებს ხარჯის დიდი ცვალებადობა, როგორც გაზაფხულზე, ისე ჩვეულებრივი დინების პერიოდში. ამიტომ კალაპოტის გადამეტებული შევიწროება იწვევს ნაპირების ინტენსიურ გარეცხვას წყალდიდობის პერიოდში. დასავლეთ ევროპის მდინარეებზე ხარჯების ცვალებადობა უმნიშვნელოა, რის გამო იქ შემოდებული კალაპოტის შევიწროვების მეთოდი კარგ შედეგებს იძლეოდა.

საკითხის სწორად გადაჭრისა და საჭირო ღონისძიებათა დასახვეწათვის მდინარის უბნებზე, ლელიავსკი სავალდებულოდ სთვლიდა ამ უბნების პერიოდული ტოპოგრაფიული გადაღებების წარმოებას და მათი მიხედვით შედგენილი გეგმების ურთიერთშედარებას კალაპოტში მომხდარი ცვლილებებისა და მათი გამომწვევი მიზეზების დასადგენად.

„დარწმუნებული ვარ, რომ ათასი მანეთები, დახარჯული განმეორებით გამოკვლევებსა და მათ დამუშავებაზე, დაგვიზოგავენ მომავალში ასეულ ათასებს, მოგვცემენ რა შესაძლებლობას თავიდან ავიცილოთ ბევრი შეცდომა სარეგულაციო სამუშაოთა დაპროექტებასა და შესრულებაში“ — წერდა ის.

ამიტომ ის საჭიროდ თვლიდა რაც შეიძლება მეტი დაკვირვებების, ცდებისა და გამოკვლევების წარმოებას. მაგრამ ლელიავსკის მარტო მდინარის გეგმა საკმარისად არ მიაჩნდა, რადგან ის არ იძლეოდა წარმოდგენას წყლის მოძრაობაზე, ნაკადის მიმართულებებსა და სიჩქარეებზე. ამიტომ იგი მეტად საჭიროდ სთვლიდა მოდელირების გამოყენებას, რომელიც ნათლად აჩვენებდა მდინარის ცხოვრებას, თხევადი მასისა და მოძრავი ფხვიერი ფსკერის ურთიერთქმედებას.

იმ პერიოდში სადავო კითხვაზე — რა წესით გავაუმჯობესოთ ჩვენი მდინარეები, გამასწორებელი ნაგებობებით თუ ამოხაპვით, ის უპირატესობას აძლევდა ნაგებობების გამოყენების მეთოდს, მაგრამ არ გამორიცხავდა ზოგ შემთხვევაში მიწის ამოხაპვის მეთოდის გამოყენებას მისი შედარებითი სიაფის გამო.

ამრიგად, ლელიავსკიმ მრავალი დაკვირვების შედეგად აღწერა მთელი რიგი კალაპოტშიგა პროცესებისა, რომლებსაც წინათ ყურადღება არ ექცეოდა. მდინარეთა რეგულირების საკითხის ირგვლივ მან წამოაყენა ზოგიერთ შემთხვევაში სადავო, მაგრამ საინტერესო მოსაზრებანი, რომ ნაპირების აქტიურ დაცვას — უპირატესობა აქვს პასიურთან შედარებით. რომ მაქსიმალურ სიღრმეთა განლაგებაზე დიდი გავლენა აქვს ნაპირსაცავი ბუნების მიმართულებას, მისი თავის ფორმას და სხვა.

მან სწორად გააშუქა ნატბორებსა და ჩქერებზე წყლის ნაკადის მოძრაობის ძირითადი კანონები. მეტად საინტერესოა მის მიერ მოცემული მდინარის კალაპოტის ფორმისა და ნაკადის მოძრაობის განუწყვეტელი მოქმედების განსაზღვრა.

საკითხისადმი ასეთი, თითქმის დიალექტიკური მიდგომის გამო მის ნაშრომებს დღემდე არ დაუკარგავს თავისი პრაქტიკული და თეორიული მნიშვნელობა.

ჰიდროტექნიკის განვითარებაში დიდი დეაწლი მიუძღვის ნ. პუზირევსკის (1861—1934 წწ.). მან მრავალი დაკვირვება და გამოკვლევა ჩატარა ამ დარგში.

წყალსავალი გზების ხაზით მომუშავე რუს სპეციალისტთა II ყრილობაზე 1895 წ. 10 თებერვალს გაკეთებულ მოხსენებაში მან წამოაყენა თავისი მოსაზრებანი მდინარეთა რეგულირების საკითხის ირგვლივ მდ. დონის დინებაზე წარმოებულ დაკვირვებათა და გამოკვლევათა მასალების საფუძველზე. განხილული იყო მდ. დონის რამდენიმე ჩქერის მდგომარეობა მათი სანაოსნოდ ვარგისობის მხრივ და მოყვანილი იყო წათი მუშაობის მაგალითები ჰავლშიმმართველი ნაგებობებითა და გაწოროხაზების ხერხით რეგულირების დროს. ის აღნიშნავდა, რომ როგორც დაკვირვებებმა გვიჩვენა, კალაპოტის გაწოროხაზების შედეგად არსად წარმოქმნილა ჩქერები, რომლებსაც სხვებთან შედარებით ფარვატერის უფრო ცუდი სანაოსნო თვისებები ჰქონოდა და ამიტომ იმ იდეებით გატაცებას, რომ მდინარის სანაოსნო პირობების გაუმჯობესება შესაძლებელია მარტო ჰავლშიმმართველი ნაგებობებით, ის არასწორად სთვლიდა. თუმცა ახლანდელი თეორიის მიხედვით მდინარის რეგულირების დროს ტრასა აუცილებლად მრუდხაზოვანი უნდა იყოს, მაგრამ პუზირევსკის მოყავს მაგალითები, როდესაც დონის ზოგიერთ მრუდ უბანზე ადგილი აქვს ფარვატერის გაუარესებას. ის გამოდიოდა იმ ჰიდროტექნიკოსების წინააღმდეგ,

რომლებიც ამტკიცებდნენ, რომ მდინარის გასწორხაზებას და მის რეგულირებას კალაპოტის შევიწროვებით შეიძლება ცუდი შედეგები მოკვეს, განსაკუთრებით ცალკეული ჩქერების რეგულირების შემთხვევაში. ამ აზრს ასაბუთებდა იმ გარემოებით, რომ შევიწროვებულ კალაპოტში განსაკუთრებით ძლიერია ნაყადის დინების მოქმედება ფსკერის გარეცხვის მხრივ და რომ ეს გარეცხვა გამოიწვევს ჰორიზონტის დაწვევას სარეგულაციო უბანზე და აგრეთვე ზემომდებარე ადგილებში, რის შედეგადაც შეიძლება წარმოიშვას ნაოსნობისათვის არასაკმაო სიღრმეები. მდ. დონის კალაპოტის ფორმირების პროცესის შესწავლის შედეგად მან მეორე აზრი გამოთქვა ფარვატერის სიღრმეზე მდინარის მოხვეულობებისა და გასწორხაზების გავლენის შესახებ. იგი აღნიშნავდა მდ. დონის ტენდენციას ბუნებრივი გზით გაასწორხაზოს მოხვეულობანი და რომ ამ გასწორხაზებას არ მოჰყოლია ფარვატერის გაუარესება.

„სემიკოროკორაკის სტანიცასთან დონმა დატოვა თავისი ძველი 8,5 კმ სიგრძის კალაპოტი და შეცვალა ის 6,5 კმ-იანი ახალი კალაპოტით, გამოიყენა რა ამისათვის პატარა მდინარე ბისტრიკის კალაპოტი. ამ შეცვლით მდინარის ზემო ნაწილში ფარვატერის გაუარესება: არ ზომხდარა“ [25]. ბევრი სხვა ასეთი მაგალითი მოიყვანა მან სხვა მდინარეებზე (მდ. მდ. ნემანი, დნებრი და სხვ.) წარმოებულ დაკვირვებათა მასალებიდან.

ის სთვლიდა, რომ მდინარისათვის უფრო მდგრადი ხასიათის მისაცემად, საჭიროა ტექნიკურ ღონისძიებათა პროექტების შედგენის დროს მხედველობაში მივიღოთ კალაპოტის შესაძლებელი გასწორხაზება და გავუადვილოთ მდინარეს მუშაობა ამ მიმართულებით.

უპირველეს ყოვლისა, საჭიროდ მიაჩნდა ჩქერების რეგულირება შევიწროებისა და გასწორხაზების გზით, ვინაიდან, მისი აზრით, ეს შეესაბამება თვითონ მდინარის ბუნებასა და მისწრაფებას.

ის, რა თქმა უნდა, ცდებოდა, როდესაც ამტკიცებდა, რომ მდინარეს აქვს თავისი კალაპოტის გასწორხაზების ტენდენცია და, მაშასადამე, მდინარის ყველა მუხანდრა და მცირე მოხვეულობა თანდათან უნდა მოისპოს. მისი აზრით ჰიდროტექნიკურ ღონისძიებათა მთელი სისტემა ისე უნდა აიგოს, რომ მან ხელი შეუწყოს კალაპოტის ბუნებრივი გასწორხაზების პროცესს.

ცხადია, ბუნებაში ასე არ ხდება — კალაპოტში განუწყვეტლევ მიმდინარეობს ძველი მოხვეულობების მოსპობისა და ახალთა წარმოშობის პროცესი; ასე რომ, მდინარე ყოველთვის ინარჩუნებს თავის დაკლაკნილ სახეს, ყოველთვის ცდილობს აღადგინოს მოხვეულობანი, რომლებიც მოსპობილი იყო ხელოვნური გზით.

უნდა აღინიშნოს, რომ იწყინერი ლელიავსკიც აგრეთვე იმ აზრის იყო, რომ სწორხაზოვანი მიმართულება საერთოდ არ ახასიათებს მდინა-

რეებს მათ ბუნებრივ მდგომარეობაში. ამიტომ ის საერთოდ წინააღმდეგე იყო მდინარის გასწორებას და შესაძლოდ თვლიდა ამ ზეობის გამოყენებას მხოლოდ იმ შემთხვევაში:

ა) როდესაც მოხვეულობა აძნელებს გემების მოძრაობას,

ბ) როდესაც მოხვეულების სიმრუდე ხელს უწყობს ყინულბერგის წარმოშობას,

გ) როდესაც განათხარის მოწყობა და ექსპლოატაცია, ერთად აღებული, ნაკლები ელირება, ვიდრე არსებული ნაპირების გამაგრება და მოვლა. ასეთსავე არასწორ თეზისს მდინარის კალაპოტის გასწორებას შესახებ ავითარებდა ნ. უუკოვსკი (1876—1943 წწ.). თავის ნაშრომში „მდინარის კალაპოტის ბუნებრივი ფორმირების ძირითად მოვლენათა განხილვა“, ეხება რა მდინარის ნაკადის მოქმედებას კალაპოტის ბუნებრივი ფორმირების პროცესში, ის აღნიშნავს მდინარეებში სამ ძირითად ტენდენციას:

1. მდინარის ნაკადი ცდილობს შეამციროს საერთო ვარდნა მისი ზემო ნაწილების სიმაღლეთა დადაბლების გზით, რაც საბოლოოდ იწვევს საშუალო ქანობისა და სიჩქარეების შემცირებას. ამით აიხსნება კანიონების, ხეეების წარმოშობა.

2. მდინარის ნაკადი ცდილობს შექმნას მთელ თავის სიგრძეზე ერთნაირი სახის, ტოლდონი და თავისი მაქსიმალური სიღრმეების ვერტიკალების მიმართ სიმეტრიული. ცოცხალი კვეთები. ადვილად რეცხვადი მდინარეების კალაპოტებში ანომალიის მრავალი მაგალითია, როდესაც ირღვევა აღნიშნული ტენდენცია, მაგრამ ეს არის გამონაკლისი და არა წესი.

ამ ანომალიების წყაროს წარმოადგენს ნაკადის ნატანით გადატვირთვა, რაც ნაწილობრივ გაპირობებულია კალაპოტისა და ნაპირების გრუნტის ადვილი რეცხვადობით, ნაწილობრივ კი გარეშე ნატანის (ნაპირის ჩამოზევაება, ხეებიდან გამონატანი ნარიყი და სხვ.) მდინარეში უხვად მოხვედრით.

შემდეგ ის აღნიშნავს, რომ ეს ანომალიები ზოგიერთ შემთხვევაში გარდუვალ ეტაპს წარმოადგენენ კალაპოტის ფორმირების გარკვეულ პერიოდში და პირველი ტენდენციის განხორციელების შემდეგ კარგავენ მისი საპირობების სიმძაფრეს.

3. მდინარის ნაკადი ცდილობს დაამუშაოს თავისთვის ერთიანი სწორხაზოვანი კალაპოტი და მდინარის ამ ტენდენციას ხსნის შემდეგი მოსაზრებებით.

კალაპოტის ფორმირების რთული პროცესი გაპირობებულია ნაკადის შემდეგი სახის მუშაობით: ω_1 — ნაკადის მოძრაობაზე, ω_2 — ჰიდრაულიკურ წინაღობათა გადალახვაზე, ω_3 — გარეცხვაზე და ω_4 — გრუნტის გარეცხილი ნაწილების გადატანაზე.

ამრიგად, მისი მთლიანი მუშაობა წარმოდგენილია როგორც ამ პროცესების ჯამი:

$$w = w_1 + w_2 + w_3 + w_4. \quad (21)$$

აქედან $w_3 + w_4$ არის მუშაობა, რომელიც მიმართულია კალაპოტის ფორმირებაზე.

მდინარის მიერ ძირითადი პროცესის წარმართვის გეგმაზომიერება გამოისახება შეფარდებით

$$\frac{w_1}{w},$$

რაც იმის მაჩვენებელია, რომ მდინარე თავისი მოქმედების მთელ პერიოდში ცდილობს მიაღწიოს ამ მაჩვენებლის მაქსიმუმს. ამისათვის კი საჭიროა მინიმუმამდე იქნეს დაყვანილი w_2 , w_3 და w_4 .

ვინაიდან მდინარის განტოტება და შეანდრების არსებობა აღიღებს w_2 მნიშვნელობას, აქედან ცხადია მდინარის მისწრაფება დაამუშაოს ერთიანი კალაპოტი და გაასწოროს მუხანდრები, რომ მიაღწიოს ჰიდრაულიკურ წინაღობათა შემცირებას. მაშასადამე, თუ სხვადასხვა ანომალიასთან დაკავშირებით მდინარის ნაკადი იძულებულია დაარღვიოს თავის მისწრაფება და წარმოშვას მუხანდრები, მიზანშეწონილი და სწორი იქნება ხელოვნური ნაგებობებით ხელი შეეწყუთ მისი ტენდენციების განხორციელებას — ასეთია ეუკოვსკის აზრი.

ის ზედმეტად აზვიადებდა კორიოლისის ძალის გავლენას კალაპოტშიგა პროცესებზე. როგორც ქვევით დავინახავთ, დედამიწის ბრუნვასთან დაკავშირებული ეს ძალა მცირეა იმ ცენტრიდანულ ძალებთან შედარებით, რომლებიც წარმოიშვება ნაკადის ცირკულაციური მოძრაობით მოსახვევში. კორიოლისის ძალის მოქმედება იწვევს მდინარეთა კალაპოტების ნელ, ცალმხრივ გადაადგილებას.

XIX და XX საუკუნის დასაწყისის რუსი ჰიდროტექნიკოსების დამახასიათებელ თავისებურებას წარმოადგენს მისწრაფება აწარმოონ დაკვირვებები და რაც შეიძლება მეტი ცნობები შეკრიბონ მდინარეთა ბუნების შესახებ.

კალაპოტის გამორკვევის მეთოდისა და ტექნიკის გაუმჯობესების საქმეში დიდი დამსახურება მიუძღვნის ნ. ლელიავსკის, რომელმაც პირველმა შექმნა ჰიდროფლუგერი — ხელსაწყო დინების მიმართულების გამოსარკვევად ნაკადის სიღრმეში. მანვე პირველმა გამოიყენა ტივტივები ზედაპირული დინების შესასწავლად. ის აგრეთვე ბევრს მუშაობდა კალაპოტის თვალსაჩინო მოდელების შექმნაზე.

ეს საქმე შემდგომში განავითარა ვ. ტიმონოვმა (1862—1936 წწ.). მან პირველმა წამოაყენა საკითხი იმის შესახებ, რომ სარეგულაციო ნაგებობათა პროექტირების ყველა სადავო საკითხი გადაწყდეს ლაბორა-

ტორიაში მოდელზე, ცდების დაყენების გზით. ამ წინადადებამ მთელი რიგი წინააღმდეგობანი გამოიწვია ზოგიერთი ჰიდროტექნიკოსის მხრივ. პროფ. ფ. ზბროჟეკი აღნიშნავდა მდინარის კალაპოტის მოდელირების შეუძლებლობას ხარჯების მნიშვნელოვანი ცვალებადობის პირობებში. მიუხედავად ამისა, ტიმონოვმა ააგო რუსეთში პირველი ჰიდროტექნიკური ლაბორატორია, სადაც კალაპოტის მოდელზე ჩატარებული ცდების შედეგად ბევრი ამოცანა იქნა გადაწყვეტილი. ლაბორატორიული მოდელირების საქმის შემდგომმა სრულყოფამ გვიჩვენა ამ მეთოდის გამოყენების სისწორე და დროულობა კალაპოტის პროცესების მრავალი რთული ამოცანის გადასაჭრელად.

მდინარეების ჰიდროტექნიკამ რევოლუციამდელ რუსეთში განვითარების სამი ეტაპი განვლო.

პირველი ეტაპი გრძელდებოდა დაახლოებით გასული საუკუნის 80-იან წლებამდე და ხასიათდებოდა იმით, რომ ნაოსნობისათვის საჭირო სიღრმე მდინარეებში შენარჩუნებული ყოფილიყო უმთავრესად მსუბუქი ტიპის სარეგულაციო ნაგებობებით და აგრეთვე პრიმიტიული მანქანა-იარაღებით, რომელთა მოქმედება ემყარებოდა მდინარის დინების ძალის გამოყენებას.

მეორე ეტაპი — 90-იანი წლების შუამდე ხასიათდება შედარებით უფრო კაპიტალურ სარეგულაციო ნაგებობათა მშენებლობით. ამასთან ერთად გამოყენებული იყო მიწის მექანიკური ამოხაპვის ხერხი ნორმალური ნაოსნობისათვის ხელისშემშლელი თხელი ჩქერების გასაღრმავებლად.

მესამე ეტაპი ხასიათდება ძირითადად მიწის ამომხაპველი მანქანების გამოყენებით და სარეგულაციო სამუშაოების თითქმის სრული უარყოფით.

პირველი ეტაპის პერიოდში შექმნილი იყო მთელი რიგი იარაღები მდინარის ფარვატერის დასაღრმავებლად, მაგალითად, ინჟინერ იანოვსკის გადასატანი კაშხლები, ბუხტევეის რიყის გამრღვევი მანქანა და სხვ.

ნაოსნობის განვითარების მზარდმა მოთხოვნილებებმა საჭირო გახადა წმენდის უფრო სრულყოფილი მეთოდების გამოყენება და ამ ეტაპზე თითქმის ყველა მდინარეზე გაჩნდა ორთქლის მიწის ამომხაპველი მანქანები. მაგრამ ამ მანქანების კონსტრუქცია არ იყო სრულყოფილი ამომხაპვის სიღრმისა და თავისუფლად გადაადგილების მხრივ. ამიტომ ამ მანქანების გამოყენებასთან ერთად საჭირო შეიქმნა ფართო მასშტაბით ეწარმოებინათ კაპიტალურ გამასწორებელ ნაგებობათა მშენებლობა.

იმის გამო, რომ კალაპოტის ფორმირების კანონები და კალაპოტის პროცესების ცოდნა იმ დროს ჩანასახის მდგომარეობაში იყო, ყველა სარეგულაციო ნაგებობა ვერ აკმაყოფილებდა სატრანზიტო გზის გაუმჯო-

ბესების მოთხოვნებს. ამან გამოიწვია მიწის ამოხაპვის სამუშაოთა ფართო განვითარება და სარეგულაციო გამასწორებელ ნაგებობათა აგების თანდათანობით შენელება. იმ დროს ჰიდროტექნიკოსთა უმრავლესობას აწორად არ მიიჩნდა საკითხის ასე დაყენება. ისინი თანახმა იყვნენ მიწის ამოხაპვა განეხილათ როგორც გასწორების დამხმარე ღონისძიება. პროფ. ბოგუსლოვსკი წერდა: „მიწის ამოხაპვას უნდა შეეხედოთ როგორც ცოცხს, რომელიც გვაცილებს ნაგავს, მაგრამ არა როგორც საშუალებას, რომელიც თავიდან გვაშორებს მის წარმოშობას“.

მიწის ამოხაპვის (ვ. ტიმონოვისა და ვ. კლაიბერის თაოსნობით) დე მდინარის რეგულირების მომხრეებს შორის გაჩაღდა მეტად მწვავე ბრძოლა, რომელმაც დაახლოებით ათ წელს გასტანა.

ვ. ტიმონოვი და ვ. კლაიბერი ამტკიცებდნენ მიწის ამოხაპვის სამუშაოების უპირატესობას ჰიდროტექნიკის განვითარების არსებულ ეტაპზე.

თავის მოხსენებაში წყალსავალი გზების ხაზით მომუშავე რუს სპეციალისტთა V ყრილობაზე 1898 წ. 8 თებერვალს „დიდი მდინარეების სანაოსნო პირობების ძირითადი გაუმჯობესების რაციონალური მეთოდის საკითხის ირგვლივ“ ტიმონოვმა ვრცლად ილაპარაკა მდინარეების რეგულირებისათვის წარმოებულ სამუშაოთა შესახებ კაპიტალურ ნაგებობათა სახით და უარყოფითი შეფასება მისცა მიღებულ შედეგებს. მან აღნიშნა, რომ მდინარის ნაკადის ბუნება ისეთი გამოცანაა, რომლის ამოსახსნელად მეცნიერებამ ჯერ კიდევ ვერ გამოიხატა ხერხები. ნაოსნობას, რომელიც სწრაფად ვითარდება, არ შეუძლია უცადოს ძიებებს, ის მოითხოვს დასმული საკითხების ჩქარ გადაწყვეტას. მიწის ამოხაპვის მექანიკური ხერხი კი სწყვეტს ნაოსნობის გაუმჯობესების საკითხს.

მას მოჰყავს მაგალითები მდ. მდ. ვოლგაზე, დნებარზე, დნესტრზე, დასავლეთ დვინაზე და სხვა მდინარეებზე ჩატარებული სარეგულაციო სამუშაოებიდან და აღნიშნავს, რომ ამ სამუშაოებმა არა თუ გამოიღო სასურველი შედეგები, პირიქით, ბევრ შემთხვევაში ავნო კიდევ ნაოსნობას.

ამიტომ, ნაოსნობის საქმის გასაუმჯობესებლად ძირითად და რეალურ ღონისძიებად ის სთვლის მიწის ამოხაპვას, უახლესი ტიპის ძლიერი მანქანების გამოყენებით. ამასთან ერთად ის ამტკიცებს ასეთი მეთოდის ეკონომიურ ეფექტიანობას, მოჰყავს რა სარეგულაციო სამუშაოთა შედეგები გერმანიასა და რუსეთში.

ამ ხერხის მიზანშეწონილობის დასადასტურებლად მან მოიშველია სხვადასხვა სპეციალისტების — პროფ. შლიხტინგის, პროფ. ვერგერ-ჰარკურტის, პროფ. ვილმენის, ინჟინერ ზბროჟეკის და სხვ. აზრი, რომლებიც თავიანთ ნაშრომებში აღნიშნავენ სარეგულაციო ღონისძიებათა არასაკმაო ეფექტიანობას ამ დარგის განვითარების მოცემულ ეტაპზე.

მას მოჰყავს შედეგები ყველა მოხსენებისა, რომლებიც მოსმენილ იქ-

ნა VI საერთაშორისო სანაოსნო კონგრესზე 1894 წ. მოძრავი კალაპორტის მქონე მდინარეების რეგულირების საკითხის ირგვლივ და კონგრესის მიერ მიღებული დასკვნა.

„უპირველეს ყოვლისა უნდა აღინიშნოს, რომ ჰიდრაულიკის ფორმულებისადმი ნდობა არსებითად შერყეულია. არ უარყოფს რა საერთო მნიშვნელობას, რომელიც შეიძლება მქონდეს ამ მეტად ვრცელი და ზუსტი ცდების შედეგად მიღებულ ფორმულებს, ინჟინრების უმრავლესობა აღნიშნავს ამ ფორმულების მეტად სერიოზულ ნაკლოვანებებს. ვინაიდან მათი გამოყენება ხდება ისეთ პირობებში, რომლებიც დიდად განსხვავდებიან იმ გარემოებებისაგან, რომლებსადაც ისინი იყო გამოყენებული.

ისინი იძლევიან ცოტად თუ ბევრად ზუსტ შედეგებს, ჩვეულებრივ შედეგებს, რომლებიც აკმაყოფილებენ პრაქტიკის მოთხოვნებს, როდესაც საქმე ეხება სუფთა წყლის მოძრაობას. მაგრამ ჩვენს მდინარეებში არ არის წყლის ნაკადები, თუმცა ჩვეულებრივ მათ ასე უწოდებენ. ისინი ერთდროულად ატარებენ წყალსაც და მყარ მასალებსაც. მდინარეთა გაუმჯობესების საქმეში სწორედ მყარი მასალები ქმნიან იმ სიძნელეებს, რომლებთანაც ჩვენ ბრძოლა გვიხდება. ამიტომ საეხებით არასწორად იქნება დასმული მდინარის გაუმჯობესების ამოცანა, თუ ჩვენ ვეცდებით მარტო წყლის მოძრაობის რეგულირებას და იმავე დროს რეგულაციას არ გაუწევთ ნატანის მოქრობას. საკითხის ასე დაყენება მით უარესია, რომ ხსენებული ორი მოძრაობა მოქმედებს ერთმეორეზე და ის მოვლენები, რომლებიც წარმოიშება მოძრავი კალაპორტის მქონე მდინარეში, არათუ განსხვავდებიან, არამედ ხშირად სრულიადაც საწინააღმდეგო არიან იმ მოვლენების, რომლებსაც მოელოდნენ მშენებლები და რომლებიც წარმოიქმნებოდნენ, რომ მდინარეში ედინა მხოლოდ წყალს არარეცხვად კალაპორტში.

ნათქვამის პირდაპირი შედეგია ის აზრი, რომ მდინარეთა გაუმჯობესების საქმეში ერთადერთი სწორი მითითებანი შეიძლება მივიღოთ მოვლენებზე უშუალო დაკვირვებათ (და არა ჰიდრაულიკის ფორმულებიდან), რომლებიც ისეთ პირობებში წარმოიქმნებიან, როგორშიც ჩვენ გვიხდება მოქმედება: მოვლენებზე დაკვირვებით არა არხებზე, რომელთაც მარტო წყალი მოაქვთ, არამედ მდინარეებზე, სადაც სწორედ ისეთი პირობებია, რომელთაც ანგარიში უნდა გაეწიოს. მოვლენები, რომლებზეც ლაპარაკია, მეტად რთულია და ჩვენ მათ ძალიან ცუდად ვიცნობთ; მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ მრავალ დაკვირვებას შევაგროვებთ და ვეცდებით, რომ შესაძლებელი გახდეს მათი ერთმანეთთან შედარება, ჩვენ უკეთ გავიგებთ ამ მოვლენებს. მაგრამ ეხლავე შეიძლება აღვნიშნოთ მდინარეების რეჟიმში რამდენიმე მოვლენა, რომელთა მუდმივი განმეორება და ხასიათის ერთობა გვაიძლებს ვაღიაროთ მათი აუცილებლობა; მეორეს მხრივ შეიძლება წააწყდეთ ისეთ მოვლენებსაც, რომლებიც გამოწვეულია შემთხვევითი მიზეზებით. უკანასკნელი შეიძლება თავიდან ავიცილოთ, მაგრამ პირველთან ბრძოლა უნაყოფია; მას უნდა დავემორჩილოთ ან უფრო უკეთესია გამოინახოს მისი გამოყენების ხეობი. დაუსრულებლივ სხვადასხვანაირი მდინარის კალაპორტის რეალური ზოგიერთში თვითონ ბუნების მიერაა განხორციელებული ის პირობები, რომელთა შექმნასაც ჩვენ ვცდილობთ ხელოვნურად. სხვებში კი თავმოყრილია პირობები, რომლებიც საზიანოა ჩვენი მიზნებისათვის“.

ზემოაღნიშნულმა მოსაზრებებმა საშუალება მისცეს ტიმონოვს თავისი დასკვნა გაეკეთებინა ამ საკითხზე:

„ურყევი იმედო უნდა ვიქონიოთ, რომ ძვირადღირებული, მაგრამ გამოუსადეგარი, ხშირად კი საზიანო ცდები ცალკეული უბნების რეგულირებისა მუდმივ ნაგებობათა მეშვეობით, რომლებიც აუარესებენ მდინარის ნაკადის ბუნებასა და მის კალაპორტს,

უარყოფილი იქნება და ეოლგის, დნპარის, დვინის და სხვათა სანაოსნო პირობების ძირითადი გაუმჯობესებისათვის გამოყენებული იქნება მდინარეთა რეგულირების წამოყენებული მეთოდი წყლის ფარვატერისაკენ მივადების წესით, ჩქერებზე საეალო გზების მექანიკური დაღრმავებისა და ამ ადგილების მუდმივი ნაგებობებით თანდათანობით გამაგრების საშუალებით“.

მეტად მწვავე კამათი გაიმართა ტიმონოვის მოხსენების გარშემო, რომელშიც მონაწილეობა მიიღეს იმ დროის ისეთმა გამოეჩინილმა სპეციალისტებმა, როგორიცაა ლობტინი, ლელიავსკი, ზბროუეკი, მაქსიმოვი.ჩი, კლაიბერი, კვიცინსკი და სხვები.

ინჟ. ლელიავსკიმ მიუთითა ტიმონოვის ძირითადი დესკვენებას მცდარობაზე. უპირველეს ყოვლისა ის არასწორად სთვლიდა რუსეთის მდინარეებზე ჩატარებულ სარეგულაციო სამუშაოთა ეფექტიანობის შეფასებას. იგი აღნიშნავდა, რომ ცალკეულ ადგილებში შეიძლება დაშვებული იყო შეცდომები, შეიძლება აგებულმა ნაგებობებმა არ მოგვცა მოსალოდნელი შედეგი, მაგრამ ძირითადად მეთოდი სწორია და ეს ღონისძიებები საბოლოოდ წვევებს რეგულირების საკითხს. ფარვატერის დაღრმავება მიწის ამოხაპვით დროებითი ღონისძიებაა — ერთი ან ორი წლის ვადით. ეკონომიური მაჩვენებლების შედარებისას მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული ყოველწლიური საექსპლოატაციო ხარჯები ორკე შემთხვევაში. მაშინ არ მოგვეჩვენება იგი რენტაბელურად მიწია ამოხაპვა, როგორც ეს ტიმონოვს წარმოუდგენია, მიუხედავად იმისა, რომ სარეგულაციო ნაგებობათა აგება ერთდროულად დიდ კაპიტალურ დახანდელებს მოითხოვს.

ინჟ. ლობტინმა აღნიშნა, რომ სარეგულაციო ღონისძიებათა ჩატარების პრაქტიკამ დადებითი შედეგები მოგვცა. თუ გვიწინა იგი მიწის ამოხაპვის სამუშაოებით შეეცვალოთ, უნდა შეეჩერდეთ ცოტად ითუ ბევრად საიმედო და საკმაოდ შემოწმებულ გამოცდილებაზე, რომელიც ჩვენ არ მოგვეპოვება. რაც შეეხება იმ აზრს, თითქოს სარეგულაციო სამუშაოები არათუ არ იძლევიან ეფექტს, არამედ ხელს უშლიან მიწის ამოხაპვის სამუშაოებს, ამას თვით ტიმონოვი უარყოფს, როდესაც ლაპარაკობს, რომ მიწის ამოხაპვით განათხარი ჩქერებზე შემდგომში ნაგებობებით უნდა დაშვარდეს.

„რაიმე წინააღმდეგობაზე ან რაიმე ექვის შეტანაზე მიწის ამოხაპვის სამუშაოთა სარგებლიანობის შესახებ ლაპარაკიცი არ შეიძლება; ამ შემთხვევაში საქმე ეხება არა მიწის ამოხაპვის სამუშაოების პრინციპულ სარგებლიანობას ქარავნების გასატარებლად, არამედ მხოლოდ იმას, რომ ღონისძიებამ არ გავციტაცოს იმ ზომამდე, რომ შემდეგ გულგატეხილი დაერჩეთ, რაც უეჭველად, მოხდება თუ ამოხაპვას ჩავთვლით უნივერსალურ საშუალებად მდინარეთა გაუმჯობესებისათვის“ — ასკენის ლობტინი.

ინე. კვიციანი სკიმ აღნიშნა, რომ მარტო მიწის ამოხაპვა იქნება პალიატიური ღონისძიება, რომელსაც ზოგიერთ შემთხვევაში შეეძლება მეტი ზიანი მოგვიტანოს, ვიდრე სარგებლობა, ვინაიდან ის ვერ მოსპობს მდინარეების დანაგვიანებისა და გათავთხელების წარმოშობ მიზეზებს. მიწის ამოხაპვა შეიძლება სასარგებლო იყოს სარეგულაციო ღონისძიებებთან ერთად.

მდინარეთა რეგულირება განხილული უნდა იქნეს არა მარტო როგორც ნაოსნობის საქმის გასაუმჯობესებელი ღონისძიება. ის იმავე დროს ემსახურება სანაპირო მიწების დაცვას გარეცხვისა და დატბორვისაგან. ამჟამად, მისი აზრით, შეიძლება ეს მიწები რუსეთში ისე არ ფასობს, როგორც დასავლეთში, მაგრამ დადგება დრო, როდესაც მათი გამოყენება სახალხო მეურნეობისათვის სათანადოდ დაფასდება. „ამიტომ, თუ ჩვენმა მთავრობამ ნაყოფიერად ჩათვალა ციმბირის რკინიგზის გაყვანაზე რამდენიმე წლის განმავლობაში 300 მლნ მანეთზე მეტის დახარჯვა, მე მგონია, ნაკლები ნაყოფიერი არ იქნება, თუ 500 მლნ მან. მაინც დაგხარჯავთ ვოლგის რეგულირებაზე 100 წელზე არანაკლებ დროში, ვინაიდან შეურიგდვდიდი ხარჯების გაწევას დროებით ღონისძიებებზე, მხოლოდ იმ უმნიშვნელო მოთხოვნათა დასაკმაყოფილებლად, რომლებსაც ნაოსნობა აყენებს სიღრმეების მიმართ ზოგიერთ ჩქერებზე, — ეს მეტად არაპიზანშეწონილი იქნებოდა“.

რა იცოდნენ ამ სამშობლოს პატრიოტებმა, რომ მათ ოცნებებს განხორციელება მოელოდა. საბჭოთა ხელისუფლების განარჯვების შემდეგ შესაძლებელი გახდა სწორედ კომპლექსურად გადაჭრილიყო წყლის რესურსების გამოყენების საკითხები. მას შემდეგ ჯერ 50 წელიც არ გასულა და ნაოსნობის საკითხები ვოლგაზე და სხვა მდინარეებზე უკვე გადაჭრილია. მაგრამ წყალი გახდა არა მარტო ნაოსნობის, არამედ ელექტროენერჯის, მიწების მორწყვისა და გაწყლოვანების ძირითადი წყარო.

ინე. ზბროჟევის აზრით მდინარეების რეგულირება წარმოებს არა მარტო ნაოსნობისათვის საჭირო სიღრმეების მისაღწევად, არამედ გარდა ამისა ნაკადის დინების რეგულირებისათვის, მისთვის გარკვეული მიმართულების მისაცემად. ამ უკანასკნელის გაკეთება კი მიწის ამოხაპვას არ შეუძლია. ის აღნიშნავს, რომ რუსმა ინჟინერებმა ღირსეული წვლილი შეიტანეს მდინარეთა რეგულირების საკითხის გადაჭრაში:

„მათ მიერ ჩატარებული მუშაობა იმის დამადასტურებელია, რომ მათ იციან იმ ძლიერი საშუალების გამოყენება, რომელსაც სარეგულაციო-გამასწორებელი ნაგებობანი ჰქვიან, და თუ ვოლგაზე ნაწარმოებ გამასწორებელ სამუშაოებში ადგილი აქვს ზოგიერთ ნაკლოვანებებს, ეს ნაკლოვანებანი, უეჭველად, უნდა იქნეს და იქნება კიდევ თავიდან აცილებული ინჟინრების მიერ, — ამაში მე ოდნავადაც ეჭვი არ მეპარება. ამი-

ტომ, მე მგონია, რომ ის დებულება, რომელსაც მომხსენებელი იცავდა — ვითომ გამასწორებელი სამუშაოები უნაყოფო და საზიანოც კია — სრულიად არ არის სწორი და ისეთია, რომ მისი დამტკიცება არაფრით არ შეიძლება“.

ის აღნიშნავს, რომ ასეთი რთული საკითხების გადაჭრის დროს შესაძლებელია შეცდომების დაშვება, მაგრამ ამაში ბრალი ჰიდრაავლიკას კი არ უნდა დავდოთ, არამედ უნდა გვესმოდეს, რომ ნაკადის მუშაობა, მისი ჰიდროგრაფიული პირობები ყოველთვის იმდენად რთულია, რომ ყველა ცალკეული ფაქტორის, ყველა ცალკეული დეტალის აწონ-დაწონა თეორიულად მეტად ძნელია, განსაკუთრებით ნაკადის ჰორიზონტების ისეთი მერყეობის დროს, როგორც, მაგალითად, ვოლგაზეა, სადაც სხვაობა დაბალ და მაღალ ჰორიზონტებს შორის 6—8 მეტრს აღწევს. ის სთვლდა სარეგულაციო ღონისძიებებს ძირითადად, მიწის ამოხაპვას კი გამასწორებელ ნაგებობათა მუშაობის გამაუმჯობესებლად. „არაოდეს არ დადგება ის მომენტი, როდესაც ჩვენ მიწის ამომხაპველი იარაღები იმ რაოდენობით გვექნება, რომ შეგვეძლება უარი ვთქვათ ნაპირების გამაგრებაზე, დინების რეგულირებაზე“ — წერდა ის.

მხოლოდ ვ. კლაიბერი გამოვიდა ტიმონოვის თეზისების დასაცავად. ის იყო მისი მხურვალე მომხრე. კლაიბერი ამტკიცებდა, რომ სარეგულაციო ღონისძიებებით შეუძლებელია მდინარეთა საწარმოო მდგომარეობის გაუმჯობესება; კიდევ მეტი, რომ ვოლგის ცალკეულ ადგილებში აგებულ ნაგებობათა ჯგუფებს ზიანი მოაქვთ, ისინი იწვევენ მდინარის დაყოფებით თხემების — ჩქერების გამრავლებას და უქმნიან ნაოსნობას ახალ დაბრკოლებებს, საჭიროებენ ამ სამუშაოებისათვის მიწის ამომხაპველი მექანიზმების ქარავანს.

ტიმონოვმა, მტკიცედ იდგა რა თავის შეხედულებებზე, დასკვნით სიტყვაში აღნიშნა, რომ მდინარეთა მდგომარეობის რეგულირებით გაუმჯობესების დრომოკმული მეთოდის დაცვა ვერ შეაჩერებს მიწის ამოხაპვის სამუშაოთა პროგრესს. მაგრამ ყრილობამ ტიმონოვის აზრი არ გაიზიარა.

ეს დავა გადატანილ იქნა ნაოსნობის საერთაშორისო კონგრესზე პარიზში 1900 წელს, სადაც ტიმონოვმა წარადგინა თავისი მოხსენება დიდი მდინარეების რეგულირების შესახებ. გაცხოველებული კამათის შემდეგ, რომელიც რამდენიმე სხდომაზე გაგრძელდა, ყრილობამ რაციონალურად სცნო ტიმონოვის წინადადების გამოყენება მცირექანობიან დიდ მდინარეებზე. ამას მოჰყვა მიწის ამოხაპვის გაძლიერებული დანერგვა და გამასწორებელ ღონისძიებათა ტემპების თანდათანობით შენელება, რომლებიც თითქმის საგაბით შეწყდა 1905 წლიდან.

უნდა აღნიშნოს, რომ ტიმონოვის იდეა იმ პერიოდისათვის პროგრე-

სული იყო, ვინაიდან კალაპოტშიგა პროცესების ბუნება და გამასწორებელ ნაგებობათა რაციონალური განლაგების პრინციპები ცნობილი არ იყო. ამის გამო ადგილი ჰქონდა შეცდომებს, რომელთა გამოსწორება დიდ თანხებს მოითხოვდა.

მიწის ამოხაპვის უპირატესობას წარმოადგენდა სამუშაოთა შედარებითი სიიაფე და შესრულების უფრო მოკლე ვადები. მიუხედავად იმისა, რომ მიწის ამოხაპვის სამუშაოებს არ შეეძლო მთლიანად გადაეკრა მდინარეთა რეგულირების საკითხი, ნაოსნობის პირობების დროებითი გაუმჯობესებისათვის ამ სამუშაოების (მიწის ამოხაპვა) წარმოება მაინც უფრო მოხერხებული იყო.

რასაკვირველია, სარეგულაციო ღონისძიებების მთლიანად უარყოფა, სწორი არ იყო იმ მოტივით, რომ მდინარის ნაკადის მოძრაობის რთული კანონები შეუსწავლელი იყო და შეიძლებოდა შეცდომების დაშვება.

სწორედ ამ შეცდომების გამომწვევი მიზეზების შესწავლას შეეძლო აეხსნა ნაკადისა და კალაპოტის ურთიერთქმედების რთული პროცესები.

ამჟამად სარეგულაციო ღონისძიებების უპირატესობა ამოხაპვის ხერხებთან შედარებით აშკარა ხდება იმ კანონების ცოდნის გაღრმავებასთან დაკავშირებით, რომლებიც განსაზღვრავენ მდინარის კალაპოტის ფორმირების პროცესებს, და აგრეთვე სამშენებლო ტექნიკის პროგრესის გამოცხლა უფრო სრულყოფილია სარეგულაციო ნაგებობათა რაციონალური განლაგების პრინციპები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან მეტი რწმენით განვახორციელოთ სარეგულაციო ნაგებობათა მშენებლობა, ვაშენოთ გაცილებით უფრო სწრაფად და იაფად.

თუ თეორიული ჰიდრომექანიკა ლოხტინის დროს ექსპერიმენტსა და ცხოვრებას მოწყვეტილი სუფთა მათემატიკური დისციპლინა იყო, ამჟამად ის გაშიდრებულია თეორიული და პრაქტიკული მონაცემებით, მრავალრიცხოვანი გამოკვლევების შედეგებითა და დასკვნებით.

მათემატიკურ ჰიდროდინამიკასთან ერთად ვითარდება ფიზიკური ჰიდროდინამიკაც, რომელიც შეისწავლის ნაკადის რთულ ტურბულენტურ მოძრაობას და მის მოქმედებას მდინარის რეცხვად ფსკერზე.

წარმოიშვა ცალკე მეცნიერება — გეომორფოლოგია, რომელიც შეისწავლის დედამიწის ზედაპირის წარმოქმნას ჰაერისა და წყლის ეროზიის გავლენით.

ფიზიკურმა ჰიდროდინამიკამ, მისი ექსპერიმენტული მეთოდებითა და თეორიული განზოგადებებით, რომლებიც ანალიზს უკეთებენ მდინარეთა კალაპოტის ფორმირების ფაქტიურ მასალებს, საძირკველი ჩაუყარა ახალ მეცნიერებას — კალაპოტშიგა პროცესების დინამიკას.

სანამ ამ საკითხების განხილვას შევუდგებოდეთ, საჭიროდ მიგვაჩნია რამდენიმე სიტყვით შევეხოთ სარეგულაციო და წყალდიდობის საწინა-

აღმდეგო ღონისძიებების საქმეს საქართველოში რევოლუციის წინა პერიოდებში.

შემონახული საარქივო მასალების, დოკუმენტებისა და მიმოწერის საფუძველზე ნათლად შეიძლება წარმოვიდგინოთ ის მდგომარეობა, რომელიც იქმნებოდა ყოველწლიურად საქართველოს ტერიტორიის მდინარეებზე წყალდიდობის დროს. აქ მდინარეთა რეგულირების საკითხი გამომდინარეობდა არა ნაოსნობის გაუმჯობესების მოთხოვნიდან, არამედ დასახლებული პუნქტებისა და სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების დაცვის საჭიროებიდან წალექებისა და დანვრებისაგან. საქართველოს მთის მდინარეები თავისი რეჟიმის ხშირი და უეცარი შეცვლით, რომელსაც ხარკებისა და პორიზონტების მნიშვნელოვანი რყევა და ნატანის დიდი რაოდენობა ახასიათებს, დიდ საფრთხეს უქმნიდა მოსახლეობას. ხალხს შესაძლებლობა არ ჰქონდა წინააღმდეგობა გაეწია სტიქიისათვის; აბოპქრებული მდინარეები აწიოკებდა ამ მხარის მცხოვრებლებს და ძალიან ხშირად ადამიანთა მსხვერპლსაც იწვევდა.

წყალთა ინსპექტორი კავკასიაში, რომელიც განაგებდა წყალთა მეურნეობის ყველა საქმეს ამ მხარეში, გაეცნო რა მდგომარეობას, რომელიც ყოველწლიურად მეორდებოდა საქართველოს მთის მდინარეებზე წყალდიდობის გავლის დროს, 1898 წელს მოხსენებაში კავკასიაში სამოქალაქო ნაწილის მთავარმართებლის სახელზე წერდა:

„კანცელარიის 1898 წ. 12 იანვრის № 525 მომართვის გამო, მაქვს პატივი მოგახსენოთ, რომ კავკასიის მდინარეების რეგულირების საკითხის სწორად დაყენება აუცილებელ საჭიროებას წარმოადგენს. მდინარეების აღიდებით გამოწვეული განადგურებანი დიდ ზიანს აყენებენ მოსახლეობას, ართმევენ გამოსაღების გადახდის შესაძლებლობას და იწვევენ მთავრობას ცოტად თუ ბევრად მნიშვნელოვანი სესხების გაცემის საჭიროებას. ამიერკავკასიაში წყალდიდობით მიყენებულ უბედურებათა ოდენობა მოყვანილია ჩემს მიერ მისი ბრწყინვალეების მთავარმართებლისადმი 1897 წ. 13 მაისს № 446-ით წარდგენილ მოხსენებაში“. იქვე ნაჩვენები იყო თანხა, რომელიც ესაჭიროებოდა წყალთა მეურნეობის დაწესებულებებს წყალდიდობასთან სისტემატური ბრძოლისათვის, რათა მოსახლეობის მიერ წყალდიდობის წინააღმდეგ გამოყენებული ღონისძიებანი უფრო მიზანშეწონილი და ნაყოფიერი გამხდარიყო.

მიუხედავად იმისა, რომ მმართველი წრეების ყველა ინსტანციის მიერ აღიარებული იყო ამ საქმისადმი მეტი ყურადღების მიქცევის საჭიროება, როგორც შემონახული საბუთებიდან ჩანს, მდგომარეობა არ შეცვლილა.

ცოტად თუ ბევრად კაპიტალურ ღონისძიებათა ჩასატარებლად სახსრები არავის გამოუყვია, მოსახლეობის მიერ თავისი სახსრებითა და შესაძლებლობით წარმოებულ დროებითი პრიმიტიული სახის ღონისძიებებს

კი არ შეეძლო აღეკვეთა მდინარეთა გამანადგურებელი მოქმედება წყალდიდობის გავლის დროს. ამას მოწმობს გენერალ-ადიუტანტ თავად ზ. გ. ქავჭავაძის მიერ წარდგენილი მოხსენება, რომელიც ეხებოდა გრაფ ვორონცოვ-დაშკოვის დავალებით მის კახეთში გამგზავრებას მოსახლეობის დასამშვიდებლად. ზ. გ. ქავჭავაძე წერდა, რომ მას ყველგან (კახეთში) როგორც გლეხების არჩეულმა კაცებმა, ისე აზნაურებმა განუცხადეს მთის მდინარეების გამანადგურებელი მოქმედების შესახებ. აღნიშნავდა, რომ მან პირადად ინახულა ამჟამად მთლიანად ქვით დაფარული ადგილები, რომლებიც შარშან ვენახის ბაღებს წარმოადგენდა.

რუსეთის პირობებში ინტერესი მდინარეთა რეგულირებისადმი გამოწვეული იყო ნაოსნობის განვითარების მიზნით. შეძლებულ პირთა კერძო ინტერესები აიძულებდა მეფის თვითმპყრობელურ ხელისუფლებას ყურადღება მიექცია ამ საქმისათვის. ამიერკავკასიაში მდინარეების აღილება ზარალს აყენებდა მხოლოდ სოფლის მოსახლეობას, ამაზე კი არავინ ზრუნავდა. მხოლოდ საბჭოთა ხელისუფლების დამყარების შემდეგ გახდა შესაძლებელი ყურადღება მიქცეოდა ნაპირსამაგრ და სარეგულაციო ღონისძიებთა გატარებას.

IV. ნაკადის მოძრაობის ძირითადი კანონების თანამედროვე მდგომარეობა

1. ტურბულენტური მოძრაობისა და განივი ცირკულაციის კანონები

ზემოთ მოყვანილი სპეციალისტების შეხედულებანი მდინარის ნაკადის მოძრაობის პროცესებზე წარმოადგენენ ამ რთული მოვლენების მხოლოდ ერთ-ერთი მხარის დამუშავებას. ზოგი მკვლევარი, როგორც მაგალითად, დიუბუა, დიუპუი და სხვები გამოდიოდნენ ჰიდრაულიკისა და ჰიდროდინამიკის დებულებებიდან და განტოლებებში შემასწორებელი კოეფიციენტებისა და ახალი პარამეტრების შეტანით ცდილობდნენ მათ გამოყენებას მდინარის ნაკადის მოძრაობისათვის. სხვა მკვლევარნი, უმთავრესად ინჟინრები: ფარგი, ყირარდონი, ლელიავსკი, ლობტინი, რომელთაც სამდინარო ნაოსნობის გაუმჯობესების უშუალო პრაქტიკული მიზანი ჰქონდათ, ყურადღებას აქცევდნენ იმ მოვლენებს, რომლებიც მათ უფრო არსებითად მიაჩნდათ დასმული მოცანის გადასაწყვეტად. გამოდიოდნენ რა ჰიდრაულიკისა და ჰიდროდინამიკის იმავე დებულებებიდან, ისინი ცდილობდნენ აეხანათ ეს მოვლენები ნაკადის სწვრივკუთონიანი მოძრაობის თეორიით (გარდა ლელიავსკისა). თეორიული ჰიდროდინამიკა წარმოადგენდა წმინდა მათემატიკურ დისციპლინას, რომელიც სავსებით მოწყვეტილი იყო ექსპერიმენტს. შესწავლილი არ იყო ნაკადის ტურბულენტური მოძრაობის თვისებები.

ამიტომ ამ თეორიებზე დამყარებულ მდინარის გასწორების პრინციპებს ცალმხრივობა ახასიათებდა და ამ ვარაუდთა საფუძველზე ჩატარებული ღონისძიებები ხშირად თავის დანიშნულებას ვერ ამართლებდნენ.

XIX საუკუნის დამლევს რეინოლდსისა და სხვა მკვლევართა მიერ დასმულ იქნა პრობლემა, რომელმაც ძირფესვიანად შეცვალა ადრინდელი შეხედულება ნაკადის მოძრაობაზე — ტურბულენტობის პრობლემა. ამჟამად მტკიცეა დადგენილი, რომ მდინარეებში ნაკადს მუდამ აქვს ტურბულენტური აღნაგობა. სხვადასხვა მკვლევართა მიერ შემჩნეული მოვლინები, როგორც, მაგალითად, ნატანის ატივტივება და გადატანა, სიჩქარეების განაწილება, ჰაელების ერთმანეთში არევა, ნაკადის მოძრაობის ხასიათი მოსახვევებში და სხვ. არის შედეგი მდინარის ნაკადის ძირითადი თვისების — ტურბულენტობის, რომლის დროს დინების სიჩქარეები განუწყვეტლივ იცვლება როგორც სიდიდის, ისე მიმართულების მხრივ.

დადგენილი იყო, რომ წყალი მდინარეებში და აგრეთვე ხელოვნურ წყალდენებში (მილებში, არხებში) მოძრაობს ტურბულენტურად გარდა იშვიათი შემთხვევის — წყალმცირობის დროს. ჰაერისა და საერთოდ აირების მოძრაობას ახასიათებს ტურბულენტური რეჟიმი. ამრიგად, ბუნებაში სითხეების ტურბულენტური მოძრაობა უფრო ხშირად გვხვდება, ვიდრე ლამინარული.

მინის მილაკებში შეფერილ ჰაელებზე ჩატარებული მრავალი ექსპერიმენტისა და დაკვირვების საფუძველზე, ცნობილმა ინგლისელმა ფიზიკოსმა და ინჟინერმა ო. რეინოლდსმა (1842—1912) დაასკვნა სითხის მოძრაობის სამი ზონის არსებობა: ლამინარულის, გარდამავალის და ტურბულენტურის. ცდების საფუძველზე მან დაადგინა, რომ კრიტიკული სიჩქარეების მნიშვნელობები, რომლებიც შეესაბამებიან ლამინარული მოძრაობიდან ტურბულენტურში გადასვლის წერტილებს, მუდმივი არ არის. ისინი იცვლებიან სითხის სახეობის მიხედვით, უფრო სწორად, მისი სიმკვრივის, სიბლანტისა და მილების დიამეტრის მიხედვით. მანვე გამოარკვეა, რომ, მოძრაობის პირობების მიუხედავად (სხვადასხვა სიჩქარე, მილების დიამეტრი, სითხეების სახეობა), სითხის მოძრაობის რეჟიმს ახასიათებს პარამეტრის ერთგვარი მუდმივი მნიშვნელობა:

$$R_e = \frac{\rho}{\mu} v d = \frac{v d}{\nu}, \quad (22)$$

სადაც ρ სითხის სიმკვრივეა;

μ — სიბლანტის კოეფიციენტი;

v — სითხის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე;

d — მილის დიამეტრი;

ν — სიბლანტის კინეტიკური კოეფიციენტი.

R_e პარამეტრს ეწოდება რეინოლდსის კრიტერიუმში ანუ რიცხვი.

რეინოლდსის რიცხვის მნიშვნელობა, როდესაც $v = v_{კვ}$ ქვედა კრიტიკული რიცხვი ეწოდება, როდესაც $v = v_{ზკ}$ — ზედა კრიტიკული რიცხვი, ე. ი.

$$R_{eკ} = \frac{v_{კ} d}{\nu} ; \quad (23)$$

$$R_{eზკ} = \frac{v_{ზკ} d}{\nu} . \quad (24)$$

ცდებით დადგენილია, რომ რეინოლდსის ქვედა კრიტიკული რიცხვი შეიძლება დაახლოებით 2320-ის ტოლი იყოს. მაშასადამე, როდესაც $R_e < 2320$, სითხის მოძრაობას მტკიცედ ახასიათებს ლამინარული რეჟიმი, როდესაც $R_e > 2320$, სითხის მოძრაობა ტურბულენტურია (გარდამავალ ზონაში ლამინარული რეჟიმი მყარი არ არის და ადვილად გადადის ტურბულენტურში). არხებისათვის და აგრეთვე უწნეო მილებისათვის, რომლებიც მთელი განივკვეთით არ მუშაობენ, რეინოლდსის კრიტერიუმში, ჩვეულებრივ, გამოისახება ჰიდრავლიკური რადიუსით (R):

$$R_e = \frac{Rv}{\nu} \quad (25)$$

და რეინოლდსის რიცხვის კრიტიკული მნიშვნელობა 300 ÷ 500-ის ტოლია. ამიტომ, როდესაც $R_e < 300$, სითხის მოძრაობა არხში ლამინარულია, როდესაც $R_e > 300$ — ტურბულენტური.

ზოგიერთი მკვლევარი ბუნებრივ ნაკადში გრძივის გარდა აღნიშნავდა ქაველების განივ გადაადგილებასაც და სთვლიდა მას მოხვეულობის შედეგად. ი. ლოსიევესკიმ მოგვცა ამ მოვლენის წარმომშობი მიზეზების უფრო ღრმა მეცნიერული დასაბუთება.

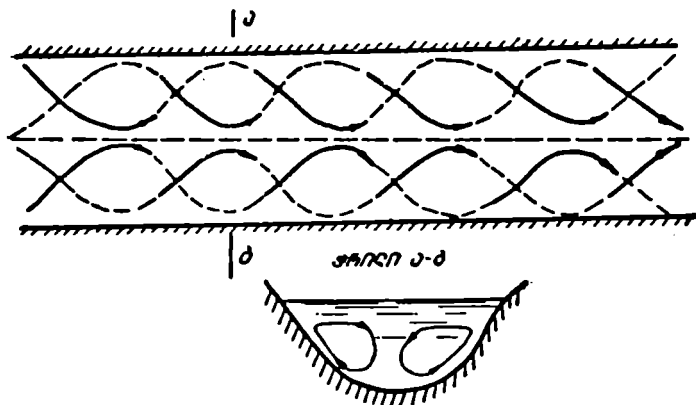
მან გამოკვლევები ჩაატარა სწორხაზოვან ღარში, რომლის სიგანე 0,26 მ ტოლი იყო, სიმაღლე — 0,15 მ და სიგრძე 2,40 მ. წყალმიმყვანი მოწყობილობა უზრუნველყოფდა წყლის მდოვრე მისვლას ღარის სამუშაო ნაწილის საწყისისადმი. ვინაიდან ამ ცდებს უნდა გადაეწყვიტა პრინციპული საკითხი განივი ცირკულაციის არსებობის ან არარსებობისა სწორხაზოვან ღარში, საჭირო იყო მოგვესპო ნაკადის გადაფერდების გავლენის ყოველგვარი შესაძლებლობა. ეს მიღწეული იყო ღარის სპეციალური კონსტრუქციით და მისი ზედმიწევნით ზუსტი აგებით.

ცდების დროს სიღრმეები იცვლება 1-დან 13 სმ-მდე, ხოლო სიჩქარეები 3—20 სმ/წმ ფარგლებში. შინაგანი დენების მიმართულების გამოსაველინებლად გამოყენებული იყო: ზედაპირული ქაველებისათვის — ტივტი-

ვები, რომელთა ფოტოგადაღება წარმოებდა ზევიდან, ფსკერული სიჩქარეებისათვის შეღებილი ქაღალეები და ბოლოს სიჩქარეებისათვის ვერტიკალის შუა ნაწილში განსაკუთრებული აბრეშუმის ძაფები.

მრავალი ცდის ჩატარების შედეგად გამოაშქარავებულ იქნა განსხვავება ფსკერულ და ზედაპირულ სიჩქარეთა მიმართულებებს შორის. ვინაიდან გადასვლა ფსკერული სიჩქარეებიდან ზედაპირულისაკენ, როგორც ჩანს, თანდათანობითი უნდა ყოფილიყო, სიჩქარის განაწილებას კვეთში უდავოდ ხრახნიანებრი მოძრაობის სახე უნდა ჰქონოდა. ამასთანავე დაუგენილ იქნა ასეთი ცირკულაციების ოთხი ტიპი. ლოსიევისკის კლასიფიკაციით ამ ტიპების თვისებები შემდეგია.

პირველი ტიპის ახასიათებს ორმაგი განივი ცირკულაცია, განშლადი ფსკერული და კრებადი ზედაპირული დენებით (ლელიავსკის დაკვირ-

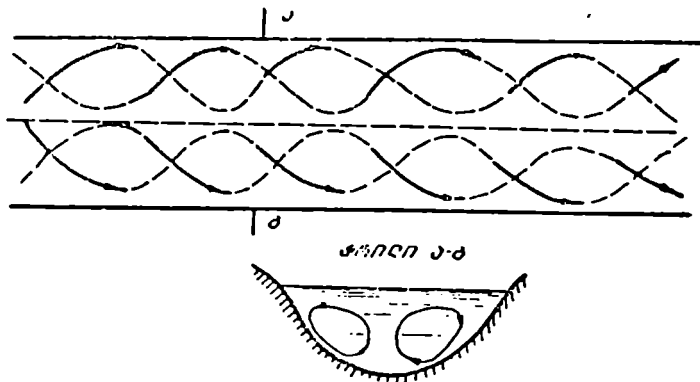


ნახ. 17. ნაკადის დინების პირველი ტიპი.

ვებებით). ეს თვისება დამახასიათებელია სივანესთან შედარებით მცირე სიღრმის მქონე ნაკადისათვის, როდესაც ძირითადი წინაღობა ნაკადის მოძრაობისადმი წარმოიშვება ფსკერის და არა ნაპირების მიერ. ცირკულაციური მოძრაობა წარმოქმნის წამოღებული ნატანის უთანაბრო განაწილებას ცოცხალ კვეთში — განშლად ფსკერულ დინებას გადააქვს ის კალაპოტის შუა ადგილიდან ნაპირებისაკენ. ამასთანავე რეცხვად კალაპოტში შუა ნაწილი ირეცხება და ღრმადდება, სანაპირო უბნებზე კი ხდება გამორეცხილი მასალების დალექვა. მოძრაობის სწორხაზოვნების შეცვლის დროს ირღვევა ორი ცირკულაციური დინების ტოლობა — ერთის გაძლიერებით მცირდება მეორე (ნახ. 17).

მეორე ტიპი — ორმაგი განივი ცირკულაცია კრებადი ფსკერული და განშლადი ზედაპირული დენებით (ნახ. 18). ეს ტიპი გვხვდება შედა-

რებით ღრმა ნაკადებში; ის წარმოიქმნება სანაპირო კედლების გაძლიერებული ზემოქმედებით. ამასთანავე კრებად ფსკერულ დინებებს წამოღებული ნატანი ნაპირებიდან გადააქვს ცენტრისაკენ და კალაპოტის შუაგულით მიაქვს ის ქვევით. განშლად ზედაპირულ დინებას კი ზედაპირზე მცურავი



ნახ. 18. ნაკადის დინების მეორე ტიპი.

სხეულები გადააქვს ნაპირებისაკენ და ნაპირების გაყოფებით მიაქვს ის ქვევით. სუსტი ნაპირების შემთხვევაში გამოჩნდება პროლონგირებული ილექტა კალაპოტის შუაში, რის შედეგად წარმოიშვება კუნძულები და დანარჩენები.

მესამე ტიპი — ცალმაგი განივი ცირკულაცია, რომელიც წარმოიშება სანაპირო კედლების არასიმეტრიული ზემოქმედების დროს. ბუნებრივ პირობებში მას ადგილი აქვს ფსკერის განივი ქანობის დროს და ხასიათდება ფსკერული დინების მიმართულებით დაბალწყლიანი ნაპირისაკენ და ზედაპირულს — ღრმა ნაპირისაკენ. ამ ტიპს ჩვეულებრივ ადგილი აქვს მდინარის მოსახვევებში (ნახ. 19).

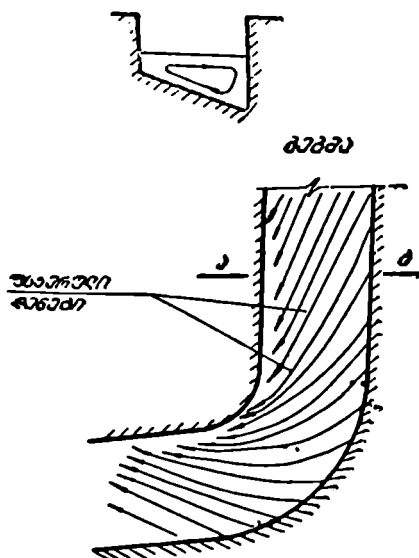
მეოთხე ტიპი — მრავალჯონს ცირკულაცია ნაკადის სიგანეზე, რომელსაც ადგილი აქვს მეტად განიერი კალაპოტის მქონე ნაკადში. კალაპოტი იყოფა უბნებად, თვითუღ უბანს აქვს თავისი ხრახნისებრი მოძრაობა, ამასთანავე მოაზღვრე უბნებზე წარმოიშვება საწინააღმდეგო მიმართულებანი (ნახ. 20).

ამრიგად, ამ ცდებიდან გამომდინარეობს, რომ სწორხაზოვან ზუსტად პრიზმულ და სწორკუთხოვან ღარშიაც კი წარმოიშვება განივი ცირკულაცია; როგორც მინიმუმი მიღებული იყო ორი ცირკულაცია მარჯვენა და მარცხენა ნაპირთან, რომელსაც ყოველთვის ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულება ჰქონდა, როგორც მაქსიმუმი კი — ოთხი

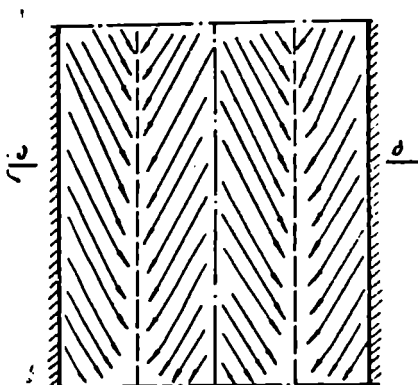
ცირკულაცია, რომელთაც ნაკადის სივანეზე განლაგებული სხვადასხვა მიმართულება ახასიათებდა. დაბოლოს ძლიერ გადაფერდებული პროფილის მქონე ნაკადში ჩვენ გვაქვს ერთი ცირკულაცია.

თუმცა ა. ლოსიევსკის ცდები მთლიანად სასურველ პირობებში არ

ჯგირი 1-ბ



ნახ. 19. ნაკადის ღინების მესამე ტიპი.



ჯგირი 1-ბ



ნახ. 20. ნაკადის ღინების მეოთხე ტიპი.

ტარდებოდა (ღარის მოკლე სიგრძე დასაშვებად ხდის ნაკადის დამახინჯების შესაძლებლობას ღარის შესავლელში), მაგრამ, როგორც თეორიული მოსაზრებანი, ისე ზოგიერთი ექსპერიმენტული გამოკვლევები ადასტურებენ განივი ცირკულაციის არსებობას ნაკადში. ამ დებულებიდან გამომდინარეობს შემდეგი საინტერესო დასკვნა: ვინაიდან ორი ცირკულაცია, რომელთაგან ერთი მოთავსებულია მარცხენა ნაპირთან, მეორე კი -- მარჯვენასთან, ცოტათი მაინც უნდა ახდენდნენ გავლენას ერთიმეორეზე, ამიტომ ძნელი წარმოსადგენია, რომ მათი ურთიერთგანლაგება სიმეტრიული იყოს. უფრო ბუნებრივი იქნება, თუ ვივარაუდებთ, რომ მარჯვენა ნაპირის ცირკულაციის ტრაექტორიის გამოზნეპილი ნაწილის პირდაპირ მოთავსებული უნდა იყოს მარცხენა ნაპირის ცირკულაციის ტრაექტორიის შეზნეპილი ნაწილი და პირიქით. ადვილი გასაგებია, რომ ასეთი განლაგე-

ბის დროს ამ ცირკულაციების შედეგად მიღებული აღმავალი და დაღმავალი ჰავლების ხახუნის ძალთა მუშაობა უფრო ნაკლები იქნება, ვიდრე ცირკულაციების სიმეტრიულად განლაგებისას.

ამ მოსაზრებას შეუძლია ახსნას ის ფაქტი, რომ ქვიშის გროვები სწორხაზოვან ნაკადში განლაგებულია ჰადრაკისებურად.

ნაკადის ასეთი განივი ცირკულაცია იწვევს ნატანის თავმოყრას აღმავალი დენების ზონებში.

რამდენიმე ხრახნის არსებობა ხელს უწყობს ნაკადის დაყოფას ცალკე ტოტებად. მაღალი ჰორიზონტების დროს ხრახნების რიცხვი მცირდება.

ზემოთქმულიდან შეიძლება დავასკვნათ:

1. აღმავალი დინება წარმოადგენს უფრო მსხვილი ნატანის აკუმულაციისა და ატივტივებული ნატანის ინტენსიური ტრანზიტის ადგილს.

2. აღმავალი დინების არეში გრძივი ზედაპირული სიჩქარეები იზრდება ფსკერული სიჩქარეების ხარჯზე და, პირაქით, დაღმავალი დინების არეში ფსკერული სიჩქარეები იზრდება ზედაპირულის ხარჯზე.

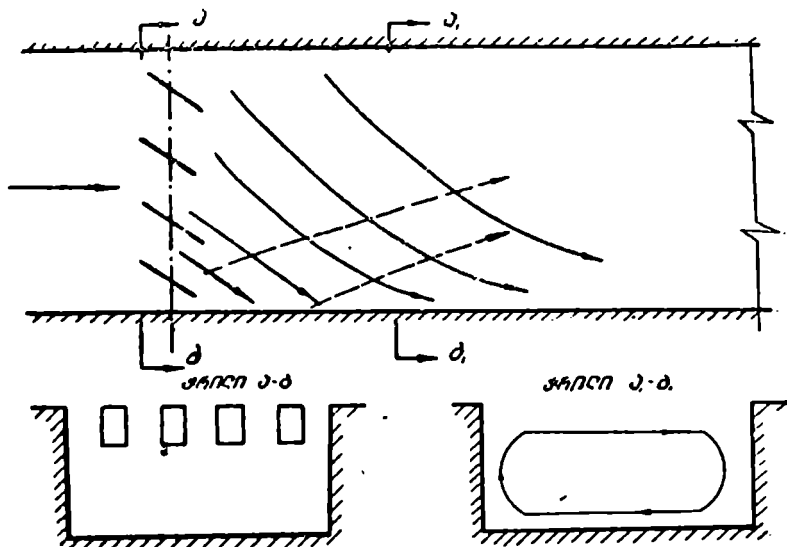
3. გამორეცხვა ხდება დაღმავალი დინების ადგილებში. ამის შედეგად ნაპირების გარეცხვის პროდუქტი გადააქვს ნაკადს მოპირდაპირე მხარეს.

4. ნაკადში შემჩნეულია მუშაობის მწყობრი განაწილება გარეცხვის, ნატანის დარიყვისა და ტრანსპორტირების მხრივ, სადაც მთავარი როლი განივ დინებას ენიჭება.

ყოველივე ზემოთქმული ადასტურებს მ. ველიკანოვის მიერ გამოთქმულ დებულებას, რომ ყოველი მდინარისათვის დამახასიათებელია ნაკადისა და კალაპოტს შორის ურთიერთქმედების პრინციპი. მდინარეში ნაკადი თვითონ ჰქმნის მისი ფორმის შესაბამის კალაპოტს, და კალაპოტი თავის მხრივ, თავისი ფორმით გავლენას ახდენს ნაკადის სიჩქარეთა არეზე. ასე, მაგალითად, განივი ცირკულაცია, როგორც სითხის ყოველგვარი წინსვლითი მოძრაობის ძირითადი თვისება, თვითონ წარმოშობს რეცხვად გრუნტებში გამავალი მდინარის ხვეულებს, ხვეულები კი თავის მხრივ ხელს უწყობენ განივი ცირკულაციის გაძღვრებას.

ლოსიევსკის მიერ დადგენილი განივი ცირკულაციის ხასიათს იმ ბუნებრივ დასკვნამდე მივყავართ, რომ რალაც ხელოვნურ ღონისძიებათა გზით შესაძლებელია გავაძლიეროთ არსებული ცირკულაცია, შევასუბტოთ ის, ან შევცვალოთ მისი მიმართულება. სწორედ ასეთი შედეგები იყო მიღებული პროფ. მ. პოტაპოვის მიერ ნაკადში ირიბად მიმართული განივი ფარების დაყენების შედეგად, რომელთაც მან „მიმართველები“ უწოდა [19]. ამ ფარებით შეიძლება ხელოვნური განივი ცირკულაციის წარმოქმნა სასურველი მიმართულებით. პროფ. მ. პოტაპოვის მიერ ჩატარებულ ლაბორატორიულ, თეორიულ და საწარმოო გამოკვლევათა საფუძველზე შეიქმნა ჰავლმომმართველი ფარები, რომელთა საშუალებით შეიძლება ნაკა-

დის ჰიდრაულიკური სტრუქტურის რეგულირება, სასურველი ცირკულაციის გამოწვევა და ნაკადის ხელოვნური დინების შექმნა, რომელიც უზრუნველყოფს ნატანის რეჟიმისა და კალაპოტის წარმოშობი პროცესების რეგულირებას, დარიყვის გამოწვევას იმ უბნებზე, სადაც მდინარის



ნახ. 21. ჰელმმმართველი ფარების მოქმედება მდინარის დინებაზე.

ბუნებრივი დინებით შექმნილია ნაპირის გარეცხვისა და დანგრევის საშიშროება.

უძრავი ჰელმმმართველი ფარები შეიძლება მოთავსებულ იქნეს ან ნაკადის ზედა შრეში (ზედაპირული მიმმართველები), ან ფსკერისპირა შრეში (ფსკერული მიმმართველები), ბოლოს ნაკადის სიღრმის შუა ნაწილშიც (შიგა მიმმართველები). ასევე შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სხვადასხვა ტიპის, უმთავრესად ფსკერული და ზედაპირული მიმმართველების კომბინაციები.

მიმმართველები ნაკადში შეიძლება განლაგდეს თითო-თითოდ ან ჯგუფ-ჯგუფად და შექმნან „მიმმართველი სისტემები“.

21-ე ნახ-ზე ნაჩვენებია 4 ზედაპირული მიმმართველისაგან შექმნილი სისტემა. ნაკადი, გაივლის რა ამ სისტემას, იწყებს ხრახნისებურ მოძრაობას, ზედაპირული დინებები გადაიხრება მარჯვნივ, ფსკერული კი (პუნქტირით)—მარცხნივ. წარმოებს განივი ცირკულაცია საათის ისრის მი-

მართულებით. ამ ცირკულაციის ინტენსიურობა სისტემის ბოლოს თანდათან ცხრება, ე. ი. ნაკადთა მიმართულება სულ უფრო და უფრო პარალელური ხდება ნაკადის ლერძის. ასეთ ნაკადში ფსკერული ნატანი წარიტანება მარცხენა ნაპირისაკენ, ზედაპირზე მტურავი სხეულები კი — მარჯვენა ნაპირისაკენ. ამრიგად, შეიქმნება დინების ისეთი პირობები, როგორც ამ შემთხვევაში, როდესაც მარჯვენა ნაპირი შეზნეკილია, მარცხენა კი — გამოზნეკილი.

ფსკერული მიმართველების მოქმედება პრინციპში არ განსხვავდება ზედაპირულისაგან (მაგრამ ცირკულაციის ასეთივე მიმართულების მისაღებად საჭიროა ფარების განლაგების შეცვლა), მხოლოდ ზედაპირული მიმართველები, სხვა თანაბარი პირობების შემთხვევაში, იწვევენ უფრო მეტად ინტენსიურ განივ ცირკულაციას; ეს იმით აიხსნება, რომ ისინი გვერდზე ახვევინებენ წყლის ზედაპირულ შრეს, რომელსაც შეტი კინეტიკური ენერგია აქვს, ვიდრე ფსკერულს. პრაქტიკულად ამ სისტემის ორივე ტიპს აქვს თავისი უპირატესობა და ნაკლი.

ფსკერული მიმართველების დადებით მხარედ უნდა ჩაითვალოს ის, რომ ისინი დატულია მტურავი სხეულების დარტყმებისაგან. მათი კონსტრუქცია მარტივია. უარყოფითი მხარე კი ისაა, რომ ისინი აკავებენ ფსკერულ ნატანს, ხანდახან იღეჭებიან და არის შემთხვევები, როდესაც გამოითიშებიან კიდევაც მოქმედებიდან.

მიმართველი სისტემა გარკვეულ წინააღმდეგობას უწევს წყლის დინებას და ამიტომ მას შეუძლია ერთგვარი შეტბორვის გამოწვევა; ეს შეტბორვა ნაწილობრივ ხმარდება განივი ცირკულაციის შექმნას, ნაწილობრივ კი უსარგებლოდ იხარჯება ჰიდრავლიკურ დანაკარგებზე. იმისათვის, რომ მინიმუმამდე იქნეს დაყვანილი შეტბორვის მეორე ნაწილი, სისტემას უნდა ჰქონდეს ადვილგარსშემოსადენი ფორმა, რომელიც უზრუნველყოფს წყლის მდოვრე მიდინებას მიმართველის სათავეზე და ასევე მოცილებას მისი ბოლო ნაწილისაგან, დინების ყოველგვარი შეწყვეტისა და ტალღური მოვლენების წარმოშობის გარეშე.

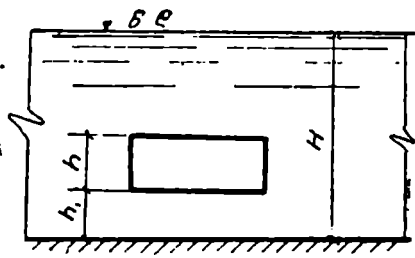
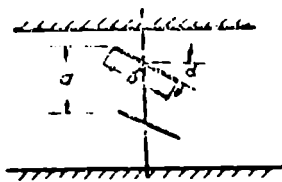
ამ მხრივ უფრო მოხერხებულ ფორმად უნდა ჩაითვალოს სეგმენტური კვეთი. ასეთი ფორმის ჰავლმიმართველი სისტემები გამოყენებულ იქნა მდ. ამუ-დარიანზე, ტამ-საისა და კლიჩ-ნიაზ-ბაის სარწყავი არხების სათავეებზე.

ამ ჰავლმიმართველი სისტემების ექსპლოატაციამ 1949—1951 წლების პერიოდში სავსებით დაადასტურა მისი კონსტრუქციული უპირატესობანი ყველა წინათ გამოყენებული ხის სისტემის წინაშე, მიუხედავად იმისა, რომ მდ. ამუ-დარიანს ნატანის დიდი რაოდენობა მოაქვს. თუ მანამდე არხის შესავალ ნაწილში ირიყებოდა ფსკერული და ატავტივებული ნატანიც კი, რომლებიც წარმოშობდა მეჩჩა და ავიწროებდა არხის წყლია-

ნი კვეთის სამუშაო ფართობს, ჰავლმიმმართველი სისტემის დაყენების შემდეგ ნატანი მთლიანად ირეცხებოდა. აღნიშნული კონსტრუქცია სრულიად მდგრადი აღმოჩნდა 3,5 მ/წმ სიჩქარეების დროსაც კი (საპროექტო სიჩქარე მიღებული იყო 2,75 მ/წმ).

როგორია ჰავლმიმმართველი სისტემის ძირითადი ელემენტები.

ა კუთხე მიმმართველსა და ნაკადის მიმართულებას შორის, რომლის მნიშვნელობა ბრტყელი ფარისათვის შეადგენს დაახლოებით 12—20°, საშუალოდ 18,5°-ია.



ნახ. 22. ჰავლმიმმართველი ფარების ძირითადი ელემენტები.

ნახ. 23. ჩაძირული ჰავლმიმმართველი ფარი.

რაც უფრო მეტია კუთხე, მით უფრო მატულობს შეტბორვა, და მასა-სადამე, ცირკულაციის ინტენსიურობაც, მაგრამ გარკვეულ ზღვრამდე, რის შემდეგ ძირითად ხრახთან ერთად წარმოიშევაა შებრუნებითი, რომელიც ასუსტებს ძირითადის მოქმედებას.

საერთოდ, მცირე კუთხეები (ა) უნდა გამოვიყენოთ მდინარის ნაკადის დიდი სიჩქარეების (>3 მ/წმ) დროს, დიდი კუთხეები — მცირე სიჩქარეების (<1,5 მ/წმ) დროს.

მიმმართველი ფარების სიგრძე ნაწილობრივ დამოკიდებულია ა-ზე და შეიძლება მით უფრო მცირე მივიღოთ, რაც უფრო მეტია აღებული კუთხე (ნახ. 22). პრაქტიკულად მიღებულია [19]:

$$l = 1,0H \div 1,5H, \text{ როდესაც } \alpha = 18 - 24^\circ;$$

$$l = 1,5H \div 2,0H, \text{ როდესაც } \alpha = 12 - 18^\circ.$$

ნაკადის ცვალებადი სიღრმის შემთხვევაში ფარების სიგრძე ისე უნდა შეეარჩიოთ, რომ დაბალი ჰორიზონტების დროს $l < 2,5 - 3,0H$ და მაღლის — $l > H$. მიმმართველი ფარის ჩაძირვის სიღრმე უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას: $h = 0,2 - 0,5H$ და უნდა შეადგენდეს საშუალოდ $1/3H$ -ს.

ფარის მეტი სიმაღლის დროს ძლიერდება შებრუნებითი ხრახნები, რის შედეგად შეიძლება დაიწყოს კალაპოტის ფსკერის გარეცხვა (ნახ. 23).

შიგა მიმმართველები ყველაზე უფრო სასურველ ცირკულაციას ქმნიან მაშინ, როცა

$$h = h_1 = \frac{H}{3}.$$

მიმმართველების სიგრძე აიღება:

$$l = 0,5 \div 1,0H,$$

ა კი განისაზღვრება იმავე წესით, როგორც ზედაპირული მიმმართველების დროს.

როდესაც ზედაპირული მიმმართველები მუშაობენ დაბალი პორიზონტის დროს, მაშინ

$$h = h_1 = \frac{H}{2}.$$

და

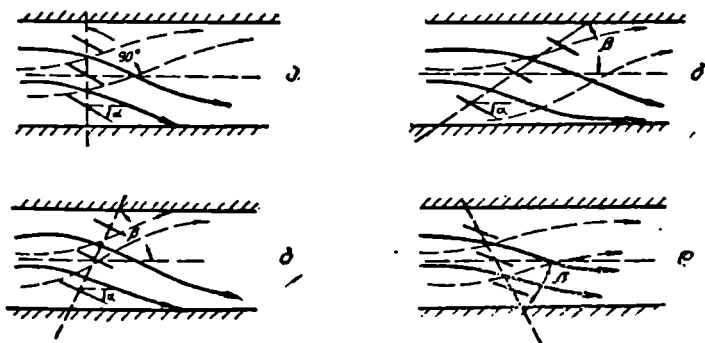
$$l \cong 1,5 - 2,0H;$$

მანძილი ფარებს შორის

$$L = 0,75 - 1,25H.$$

ირიბი მიმმართველი სისტემები ნაჩვენებია 24-ე ნახ-ზე.

სქემაზე (ა) ნაჩვენებია ზედაპირული მიმმართველების ცალმაგი სისტემა, რომლის დერძი ნაკადის მიმართულებასთან 90° -იან კუთხეს ქმნის. სქემაზე (ბ) მიმმართველების სისტემის დერძი ქმნის β კუთხეს ნაკადის მიმართულებასთან, სადაც $\beta < 90^\circ$ (ნახაზზე ნაჩვენებია ჭავლების მიმართულება: მთლიანი ხაზებით — ზედაპირულის, წყვეტილით კი — ფსკერულის). არსებობს ირიბი მიმმართველების განლაგების სხვადასხვა შემთხვევები: როცა α და β სხვადასხვა ნიშნისაა (ბ და გ) და როცა ისინი ერთი ნიშნისაა (დ). პირველ შემთხვევაში ჭავლების ცირკულაცია სისტემის



ნაი. 24. ირიბი ჭავლმიმმართველი ფარები.

ქვევით მთლიანად შენარჩუნებულია, მაგრამ ფსკერული ღინების ხაზები კუთხის შემცირებასთან ერთად თანდათან უახლოვდებიან ერთმანეთს.

როდესაც β მცირდება $15 \pm 20^\circ$, ფსკერული დინებები მიემართებიან სისტემის გაყოლებით ქვედა ბოლომდე, ამავე მიმართულებით მოძრაობს ფსკერული ნატანიც, რომელიც საბოლოოდ საერთო კალაპოტში ვარდება. მაშასადამე, ასეთი სისტემა წარმოადგენს ფსკერული დინებისა და ფსკერული ნატანის რაღაც „გადამღობ ხაზს“.

თუ β კუთხეს შევამცირებთ საწინააღმდეგო მიმართულებით (დ), მაშინ ცირკულაცია სისტემის ქვევით სუსტდება და დინების ხასიათი იცვლება. კერძოდ, როდესაც $\beta = \alpha$ და $L = l$ (სადაც L მიმმართველებს შორის მანძილია და l — მიმმართველის სიგრძე), ვღებულობთ სისტემას ერთი გრძელი მიმმართველის სახით. ზედაპირული დინებები აქ, მიადგებიან რა სისტემას, უხვევენ და მიემართებიან მისი გაყოლებით, შემდეგ ეშვებიან ქვევით და გადიან მიმმართველების ქვეშე; ფსკერული დინებები რამდენადმე მეორე მხარეს უხვევენ, შემდეგ უცბათ სწორდებიან და პარალელურად მიყვებიან ნაკადის ღერძს. აქედან გამომდინარეობს, რომ ასეთი ზედაპირული სისტემა ფსკერული ნატანის სარეგულაციოდ ნაკლებეფექტურია.

ამრიგად, მიმმართველების სხვადასხვანაირი განლაგებით შესაძლებელია გამოვიწვიოთ ნაკადის ქავლების ისეთი ცირკულაციური დინება, რომელიც თავისი მოქმედებით ჩვენთვის კალაპოტის ხელსაყრელ ფორმირებას გამოიწვევს.

მდინარეში გვერდითი წყალმიმღების მოქმედების დროს ადგილი აქვს ნაკადის განშრევებას ან ბუნებრივ განივ ცირკულაციას, ნაკადის ნაწილის მოხვევის გამო.

ამ ცირკულაციის მოქმედებით ფსკერული დინებები წაიტაცებენ ფსკერულ ნატანს წყალმიმღებებში, რის შედეგად საანგარიშო ხარჯი მცირდება. ამ მოვლენის თავიდან ასაცილებლად იდგმება მიმმართველი სისტემა, რომლის დანიშნულებას წყალმიმღების ფსკერული ნატანისაგან დაცვა შეადგენს.

ვ. შაუმიანის მიერ ჩატარებულ იქნა გამოკვლევები იმის შესახებ [21], თუ მიმმართველების როგორი განლაგებაა საჭირო რათა ფსკერული ნატანის დინება გადავწიოთ A წერტილის გადაღმა (ნახ. 25) და დავიცვათ წყალმიმღება ნალექებისაგან. ამ წერტილის მდებარეობა განისაზღვრება θ კუთხით, რომლის მნიშვნელობა იცვლება $45 + 60^\circ$. სისტემის სიგანის გამოსათვლელად ვ. შაუმიანი იძლევა შემდეგ ფორმულას:

$$b_k = 1, 2(k + 0, 4)b_k, \quad (26)$$

სადაც b_k წყალმიმღები ნაწილის სიგანეა;

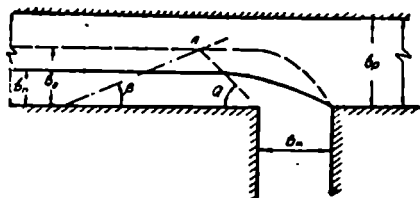
$$k = \frac{q_k}{q_p};$$

q_k არის წყალმიმღების ხვედრითი ხარჯი 1 მ სიგრძეზე;

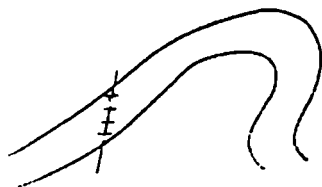
q_p — მდინარის ხვედრითი ხარჯი 1 მ სიგანეზე.

თუ გვეცოდინება A წერტილის დაცილება ნაპირიდან (b_g) და განვსაზღვრავთ Θ კუთხეს, გამოვთვლით სისტემის საჭირო სიგრძეს და მისი ფარების რაოდენობას.

თუ წყლის სიღრმეები, სიჩქარეები და კუთრი ხარჯები მდინარესა და არხში წლის განმავლობაში დიდ ცვლილებებს განიცდიან, სიგანე b_g და A წერტილის მდებარეობა უნდა გავიანგარიშოთ სხვადასხვა რეჟიმისათვის და ავირჩიოთ ყველაზე არახელსაყრელი, ე. ი. A წერტილის ყველაზე



ნახ. 25. ჰელმშიმართველი სისტემის საანგარიშო სქემა.



ნახ. 26. ჰელმშიმართველი ფარები მდინარის მთელ სიგანეზე.

უფრო დაშორებული მდებარეობა ნაპირიდან და დაენიშნოთ სისტემის როგორც განლაგება, ისევე ფარების რაოდენობა და ზომები.

მიმმართველი სისტემის საჭირო სიგრძე გამოითვლება ფორმულით:

$$L = \frac{b_g}{\sin \beta} \quad (27)$$

ლაბორატორიული ცდების საფუძველზე β კუთხის სიდიდე მიღებულია $16 \div 20^\circ$ ფარგლებში.

მდინარის მოხვეულ უბნებში ბუნებრივად წარმოებს ნაკადის განივი ცირკულაცია და ამის გამო ხდება გამოზნეჭილი ნაპირების წაზრდა და შეზნეჭილის გარეცხვა. მიმმართველი სისტემით შეიძლება შებრუნებითი განივი ცირკულაციის შექმნა და ამით შეზნეჭილი ნაპირის გარეცხვის თაიდან აცილება (ნახ. 26).

თუ მდინარე ძალიან ფართოა და მისი კალაპოტის მთლიანად გადაკეტვა ძნელია, მაშინ ბრძოლა უნდა ვაწარმოოთ რეცხვად ნაპირთან მიმმართველი ფარების მოკლე სისტემით.

სხვადასხვა კონსტრუქციის ჰელმშიმართველ ნაგებობათა გამოყენებით შესაძლებელია ჰიდროტექნიკის სხვადასხვაგვარი ამოცანის გადაჭრა. ასე, მაგალითად, სარწყავი სისტემების წყალმიღებ ნაგებობათა დაცვა ფსკერული და ფსკერისპირა ნატანისაგან, კალაპოტის შეზნეჭილი ნაპირის გარეცხვის შეწყვეტა, სპეციალური, განაპრების შექმნა ნაოსნობის გაუ-

ჯობესებისა და სხვა მიზნებისათვის, კალაპოტებისა და ნაკადების რეგულირება სარწყავი სისტემების წყლით უზრუნველყოფისათვის და ა. შ.

შემდგომი გამოკვლევების საფუძველზე ხელოვნური განივი ცირკულაციის გამოყენებით შეიქმნა ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ახალი კონსტრუქციები. ეს ახალი კონსტრუქციები და ნაგებობანი საშუალებას გვაძლევს მთლიანად მოვაწესრიგოთ ნაკადისა და ნატანის რეჟიმი ყოველი მიმართულებით, წყლის ენერჯის უკეთ გამოყენების გზით, შედარებით მცირე კაპიტალური და საექსპლოატაციო ხარჯების გაწევით.

ამას მოწმობს ჭავჭავაძის სისტემის საწარმოო გამოყენების გამოცდილება მდ. ამუ-დარიაზე, სარწყავი არხების ტაშ-საკის (აგებულია 1949 წ.), კლიჩ-ნიან-ბაის (აგებულია 1951 წ.) და კიბჩაყ-ბოხსუს სათავეებზე, რითაც უზრუნველყოფილია სარწყავ სისტემებში ფსკერული ნატანის მოხვედრის თავიდან აცილება.

1955 წლის მონაცემებით, ექსპლოატაციის პერიოდში, ჭავჭავაძის სისტემების საშუალებით აღნიშნული არხები დაცულ იქნა 4,8 მლნ 3¹ მსხვილი ქვიშოვანი ნატანისაგან, რის შედეგადაც ამ არხების წმენდაზე მიღებულმა ეკონომიამ 1 მლნ მან-ზე მეტი შეადგინა, მიწის შემწოვ მექანიზმებით წმენდასთან შედარებით. ხელით წმენდასთან შედარებით კი ეს ეკონომია 3,5 მლნ მან. გადააჭარბებს.

დიდი საცდელი გამოკვლევები ტარდება ხელოვნური განივი ცირკულაციის დარგში საკავშირო ჰიდროტექნიკისა და მელიორაციის სამეცნიერო-საკვლევ ინსტიტუტში ჭავჭავაძის სისტემების უფრო რაციონალური და სრულყოფილი კონსტრუქციების გამოსაძებნად. ვ. შაუმიანის ხელმძღვანელობით შექმნილია ფსკერული ზღურბლის, დარების, გალერეებისა და სხვ. ახალი კონსტრუქციები. ასე, მაგალითად, ფსკერული ჭავჭავაძის სისტემის ფარების განლაგების შეცვლა გვიჩვენებს, რომ როდესაც $\alpha = \beta$, ადგილი აქვს ტოლობას

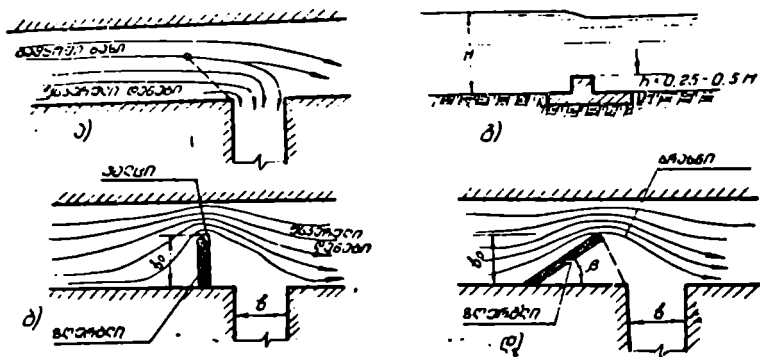
$$\gamma = \alpha - \beta = 0.$$

ამ შემთხვევაში ფსკერული ფარების მიმართულება ემთხვევა სისტემის ღერძის მიმართულებას და ჭავჭავაძის სისტემა გადაიქცევა მთლიან ფსკერულ ზღურბლად, რომელიც დაყენებულია ნაკადის დინებისადმი β კუთხით. გამოკვლევებმა გვიჩვენეს, რომ ამ დროს ნაკადის ფსკერულ ნაწილში წარმოიშვება თავისებური ხრახნისებრი მოძრაობა, რომლის პორიზონტალური ღერძი მდებარეობს ზღურბლის გაყოლებით (ნახ. 27, ა).

ნაკადის ჭავჭავაძის სისტემის ზღურბლთან მისვლისას ნაკადი შრევედება. ფსკერული შრე უხვევს ზღურბლთან და მიიმართება ზედა კიდის გაყოლე-

ბით, ნაკადის ზედა შრე კი გადადინდება ზღურბლზე და მის ქვედა კედესთან წარმოქმნის ვალციანებრ მოძრაობას (ნახ. 27, ბ).

როდესაც ზღურბლი დინებასთან $\beta \approx 90^\circ$ კუთხით მდებარეობს, წარმოიშევა პორიზონტების სხვაობა საწყისსა და ბოლოში; ამის გამო ფსკერული სიჩქარე მიიმატება ზღურბლის გაყოლებით (ნახ. 27, გ). ეს სიჩქარე, შეერთებული ვალცის ვერტიკალურ მოძრაობასთან, წარმოშობს ხრა-



ნახ. 27. ფსკერული ქველმომართველი ზღურბლები.

ხნისებრ მოძრაობას. რომლის პორიზონტალური ღერძი გაივლის ზღურბლის ქვედა კედლის გაყოლებით.

სხვადასხვა ამოცანის გადასაწყვეტად კუთხე შეიძლება იცვლებოდეს 15° — 20° -დან 60° — 90° -მდე, ზღურბლის სიმაღლე კი — ნაკადის საშუალო სიღრმის 25—50% შორის.

ფსკერული ქველმომართველი ზღურბლები გამოცდილია ნაკადის სტრუქტურის რეგულირების სხვადასხვა შემთხვევისათვის, როგორც მაგალითად:

- ა) არხების დაცვა ფსკერული ნატანისაგან;
- ბ) ფსკერული ნატანის მოძრაობის მიმართულების შეცვლა და მისი მოცილება საგლეხ ნაგებობათა მეშვეობით;
- გ) შეზნეპილი ნაპირის დაცვა გარეცხვისაგან და მდინარის კალაპოტის გასწორება ნაკადის მოხვევის შემთხვევაში და სხვ.

ლაბორატორიული ზონაცემებით დადგენილია β მნიშვნელობა, რომელიც საჭიროა არხების დასაცავად ფსკერული ნაკადის მოხვედრისაგან. ქველმომართველი ზღურბლი ისე უნდა აიგოს, რომ მისი ბოლო გასცილდეს გამყოფი ხაზის A წერტილს (ნახ. 27, ა), რომლის მდებარეობა გამოითვლება 26-ე ფორმულით.

როდესაც ჭავჭავიძის მართვითი ზღურბლი დინების მიმართ $\beta < 90^\circ$ კუთხით მდებარეობს, მაშინ მისი სიგრძე გამოითვლება ფორმულით:

$$L = \frac{b_0}{\sin \beta}.$$

ნაკადის ფსკერულ შრეში ქვედა მხრიდან წარმოიშვება ხრახნისებრი მოძრაობა. ფსკერული ნატანი გაიტანება ზღურბლის წინა და ქვედა კიდის გაყოლებით ფსკერული დინების გამყოფი ხაზის გარეთ და არ ხვდება წყალსაგდებ კალაპოტში. როდესაც $\beta = 90^\circ$, ფსკერული ნატანი გაიტანება ზღურბლის წინა ზონის გაყოლებით; ზღურბლის იქით წარმოიშვება ვალციანობის დინება.

ნაკადის განივი ცირკულაციური მოძრაობის პრინციპი სპეციალისტების მიერ გამოყენებულ იქნა წყალმიმღებ ნაგებობათა ფსკერული ნატანის მოხვედრისაგან დასაცავად.

ინჟინერმა კოლესნიკოვმა შეიმუშავა წყალმიმღების ახალი ტიპი კონუსისებრი სახის გამრეცხი გალერეით, რომელიც დამყარებულია გალერეის შიგნით ცირკულაციური დინების წარმოშობის და ამის შედეგად ნაკადის გამრეცხუნარიანობის გადიდების პრინციპზე. ლაბორატორიულმა გამოკვლევებმა დაადასტურა ამ ტიპის გალერეის რაციონალური მუშაობა.

კ. ლიპატოვის წყალმიმღები კონსტრუქციაც აგრეთვე აგებულია ნაკადის ცირკულაციური მოძრაობის პრინციპზე, სპეციალური ნატანამცილებელი გალერეების მოწყობის გზით.

ნატანდამკერი გალერეიანი წყალმიმღების საინტერესო კონსტრუქცია შექმნა ინჟ. ნ. დანელიამ. აქაც გამოყენებულია მდინარის ნაკადის მოძრაობის ცირკულაციური თვისებები. ეს კონსტრუქცია წარმატებით სწყვეტს დიდნალექიანი მდინარეების მთისა და მთისწინა უბნებზე აგებულ წყალმიმღებ ნაგებობათა ნორმალური მუშაობის ამოცანას და უზრუნველყოფს არხების მეტად ეფექტურ დაცვას მოსილვისაგან. შეისწავლა რა ექსპლოატაციაში მყოფ წყალმიმღებ ნაგებობათა მდგომარეობა, მათი უარყოფითი მუშაობა ფსკერული ნატანის ხშირი დალექვის შედეგად, ინჟ. ნ. დანელია უპირველეს ყოვლისა შეეცადა გაერკვია ამის გამომწვევი ძირითადი მიზეზები. მის მიერ ჩატარებულმა დიდმა მუშაობამ ნატურული და ლაბორატორიული გამოკვლევების სახით საშუალება მისცა მას დაედგინა, რომ ძირითადი მიზეზი მრავალი წყალმიმღები კვანძის არასასურველი მოქმედებისა მდგომარეობს იმაში, რომ ეს ნაგებობანი გეგმარდებოდა და შენდებოდა კალაპოტშიგა პროცესების გათვალისწინებისა და ნაკადის განივი დინებების გამოყენების გარეშე.

დაპროექტების დროს წყალმიმღებ ნაგებობათა ნორმალური მუშაობისათვის გადასწყვეტ ფაქტორებად ითვლებოდა გვერდითი წყალსაგდების

კუთხე, წყალმიმღების ზღურბლის სიმაღლე და სხვ. არსებული მასალების ვრცელმა ანალიზმა გვიჩვენა, რომ:

ა) არხების ფსკერული ნატანისაგან დაცვის საკითხის გადაჭრის დროს გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს არა გვერდითი წყალმიმღების კუთხეს, არამედ მდინარის ნაკადის წყალმიმღებთან მიდგომის (მისვლის) კუთხეს და ამ კვანძის კონსტრუქციულ ელემენტებს ნატანის ზედა ბიეფიდან ქვედაში გადატანის უზრუნველსაყოფად.

ბ) გვერდითი წყალმიმღების ზღურბლის სიმაღლე არ სწყვეტს ნალექებთან ბრძოლის საკითხს.

გ) მდგომარეობას არ შეეღოს არც მცირე სიჩქარეები და არც სანაპირო ბურჯების ნარნარი მოხაზულობა.

გამოვლინდა, რომ ფსკერული ნატანის გვერდით წყალსაგდებში შეტანის მიზეზი უნდა ვეძიოთ წყლის ნაკადის ჰიდრაავლიკურ სტრუქტურაში, რომელიც ყალიბდება კალაპოტის, ნაკადისა და ნაგებობათა ურთიერთქმედების პროცესში. აქედან აშკარად ჩანს, რომ წყლის ნაკადის მოქმედება იცვლება მისი ჰიდრაავლიკური სტრუქტურის შეცვლასთან ერთად. ნაკადის ყოველ ჰიდრაავლიკურ სტრუქტურას შეესაბამება ფსკერული ნატანის გარკვეული მიმართულება, გარეცხვისა და დარიყვის გარკვეული ადგილები.

ამრიგად, წყალსაგდების კუთხის შეცვლა, შესასვლელი სიჩქარეების გადიდება ან შემცირება, ზღურბლებისა და ხრეშდამპერების მოწყობა, წყალმიმღების კოეფიციენტის რეგულირება და სანაპირო ბურჯების ნარნარი მოხაზულობა მთლიანად არ სწყვეტენ წყალმიმღების ნორმალური მოქმედების საკითხს, ვინაიდან არც ერთ ამ ღონისძიებას არ შეუძლია რადიკალურად გადააკეთოს ნაკადის ჰიდრაავლიკური სტრუქტურა და შეცვალოს მისი მოქმედება საჭიროების მიხედვით. ფსკერული ნატანის წყალმიმღებში მოხვედრის თავიდან აცილების საქმეში დიდი მნიშვნელობა აქვს მდინარის კალაპოტის რეგულირებას რათა შეიქმნას ნაკადის სასურველი ჰიდრაავლიკური სტრუქტურა წყალმიმღები ნაგებობის ზონაში.

ინჟ. ნ. დანელიას მიერ დამუშავებული ნატანდამპერი გალერეების კონსტრუქცია აკმაყოფილებს ყველა ამ მოთხოვნას.

თავის მუშაობის მიხედვით ამ გალერეების დანიშნულება ის კი არ არის, რომ პერიოდულად გაწმინდოს წყალმიმღები მის წინ დარიყული ნატანისაგან, არამედ გამუდმებით გადაუჭრას გზა ნატანს წყალმიმღებისაკენ და გაიტანოს ის ქვედა ბიეფში. ამ ტიპის კონსტრუქციებში მეტად გაძლიერებულია განივი ცირკულაციის ინტენსიურობა წყალმიმღების უბანზე და აცილებულია ყველა ფაქტორის გავლენა, რომლებიც უარყოფითად მოქმედებენ ნაგებობათა ნორმალურ მუშაობაზე.

საქართველოს ჰიდროტექნიკისა და მელიორაციის სამეცნიერო-სა-

კვლევი ინსტიტუტში წარმოებულმა მრავალმა ლაბორატორიულმა გამოკვლევამ დაადასტურა ამ ტიპის ეფექტიანობა, სახელწოდებელი ის, რომ წყლის ნაკადის ჰიდრაულიკური სტრუქტურის სასურველი ცვლილებების მისაღებად გონივრული ხერხების გამოძებნის გზით შესაძლებელია ნატანის მოძრაობის მართვა. ლაბორატორიული გამოკვლევების დადებითმა შედეგებმა, რომლებიც დასაბუთებულია თეორიული მსჯელობით, საფუძველი შექმნა ფართოდ დანერგილიყო აღნიშნული ტიპის სათავე ნაგებობათა მშენებლობაში. უკანასკნელ წლებში წყალმომღები ნაგებობანი ნატანდამკერი ვალერეებით აგებულია ტირიფონის, სალთვისის, ვანათის, თეზიოკამის, ტაშისკარის, მუხრანის, ხრამისა და საქართველოს სხვა სარწყავ სისტემებზე, აგრეთვე აზერბაიჯანში მდ. მდ. ტურთან-ჩაიზე, განჯა-ჩაისა და გეოკ-ჩაიზე. აღნიშნული წყალმომღების ექსპლოატაციისა და ნატურულ გამოკვლევათა მონაცემებმა დაადასტურეს მათი მუშაობის ეფექტიანობა და, მაშასადამე, ლაბორატორიული დასკვნების სისწორე.

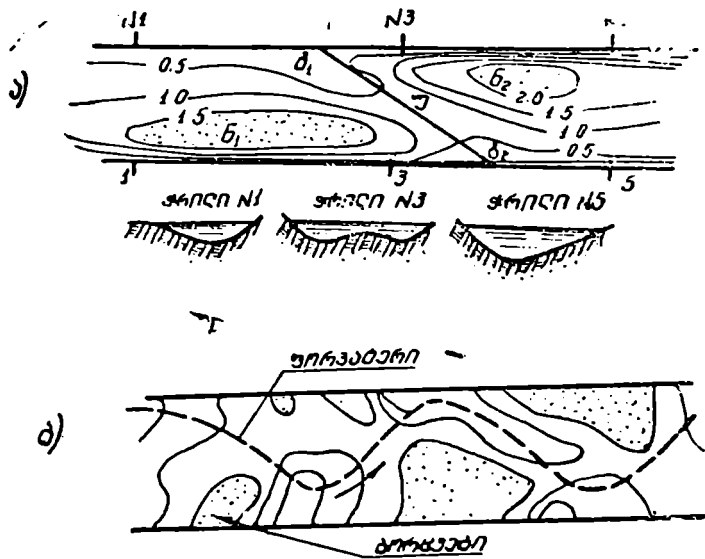
2. მდინარეთა აალაოტის ფორმირება, მათი კლასიფიკაცია მდინარის კალაოტის ფორმირების ზოგადი კანონების დადგენისათვის

ა. ლოსიევსკის მიერ ჩატარებულ იქნა ექსპერიმენტები, რომელთა საფუძველზე მის მიერ ახსნილი იქნა ნატბორებისა და ჩქერების წარმოშობის საერთო გენეზისი.

ყოველი ჩქერი უმთავრესად წარმოადგენს მდინარის შედარებით სწორხაზოვან უბანს ორი ნატბორის ღარტაფით — ზედა და ქვედა (ნახ. 28), ორი გვერდულათი და მათი გაწყოფი ჩქერის უნაგირათი. გვერდულა წარმოადგენს ნაპირებისაკენ ამალღებულ ნატბორის ნაწიღებს. ჩქერის უნაგირა კი ეს არის ერთადერთი გეომეტრიულად შესაძღებელი ზედაპირის ფორმა, რომელიც აერთებს ჯვარღინად განღაღებულ ორ ღარტაფსა და გვერდულას.

ღინების ანალიზი გვიჩვენებს რომ III ტიპის ცირკულაციას ადგილი აქვს ნატბორებში, ჩქერებში კი, რომელთა კვეთები სწორკუთხედს უახლოვღება, გვაქვს I და II ტიპის ცირკულაცია. ძირეული განსხვავება ნატბორებისა და ჩქერების ცირკულაციებს შორის მღგომარეობს იმაში, რომ პირველ შემთხვევაში ყოველთვის ადგილი აქვს ერთ ცირკულაციას, მეორეში კი — ორს ან მეტს; გარდა ამისა ნატბორის ერთმხრივი ცირკულაცია გასაღები მიზეზების გამო უფრო ინტენსიურია, ვიდრე ჩქერის [5]. ნატბორის ზედა ღარტაფიდან ქვეღაში გადაღემის მთელი პროცესის განხიღვისას ყურადღება ექცეოღა იმას, რომ ნატბორის ღარტაფი წარმოადგენს შესაბამისი ნატბორის ბოლო ნაწიღს და, მაშასადამე, ნატბორის დამახასიათებელი ერთმაღი ცირკულაცია აქ უნღა გრძელღებოღეს შენეღე-

ბულად. ზედა ნატბორის ღარტაფში შემჩნეული იყო სუსტად გამოხატული III ტიპის ცირკულაცია; მაგრამ იქვე მარცხენა ნაპირთან ადგილი ჰქონდა საწინააღმდეგო მიმართულების დინებასაც. გამყოფ ზედაპირზე ადგალი აქვს თავშეყრილ ფსკერულ დინებებს, რომლებიც ხელს უწყობენ როგორც მარცხენა გვერდულის წარმოშობას, ასევე ვიწრო კვალის წარ-



ნახ. 28. ნატბორებისა და ჩქერების საერთო ხასიათი.

მოშობას ზედ ჩქერის თხემზე. შემდეგ ეს დინება მდოვრედ გადადის ჩქერის ქიმზე ქვედა ნატბორის ღარტაფში, სადაც გადაიზრდება I ტიპის ცირკულაციად, რომელიც განაპირობებს გარეცხვას და დაღრმავებას ღარტაფის ღერძის გასწვრივ. კიდევ უფრო ქვევით თვითონ ნატბორზე I ტიპის ეს ორმაგი ცირკულაცია ალბათ უნდა გადადიოდეს III ტიპის ერთმაგ ცირკულაციაში, საათის ისრის მიმართულების მქონე მარცხნივ მდებარე ხრახნის თანდათანობითი გაჭრობის ხარჯზე; დარჩება ცირკულაცია საათის ისრის მიმართულების საწინააღმდეგოდ, რომელიც შეესაბამება მარცხენა ნაპირს, ე. ი. მარცხნივ მდებარე ნატბორს. მაგრამ უშუალოდ ჩქერის ქიმის ქვემოთ ადგილი აქვს ორ ბრუნვას: ერთი, რომელიც მდებარეობს ნაკადის მარჯვენა ნაწილში და მიმართულია საათის ისრის საწინააღმდეგოდ და მეორე ნაკადის მარცხენა ნაწილში, რომელსაც აქვს საათის ისრის მიმართულება. ასეთ შემთხვევაში აღმაჯალ დინებათა თავმოყრა უნდა მოხდეს ქიმ-ქვეშა არეში, ე. ი. სწორედ იქ, სადაც ფსკერული ქავლები ეს-ეს არის

გადავიდნენ ჩქერის ქიშხე. ამის შედეგად ქვედა ნატბორის ცირკულაციით წარმოშობილი აღმავალი დინებები, შეხედვებიან რა ჩქერის ქიმის გადამკვეთ ფსკერულ დინებებს, იწვევენ უკანასკნელთა გადახრას ქვედა გვერდულისაკენ, რაც იწვევს ამ ფსკერულ დინებათა დამუხრუჭებას და მათთვის ერთადერთი შესაძლებელი მიმართულებით ხდება მოძრაობა ჩქერის ქიმის გასწვრივ. ა. ლოსიევსკის მიხედვით ჩქერის ქიმის მდგრადობა გარეცხვის მიმართ სწორედ შიგა დინებების აღნიშნული შეხამების შედეგია — შეხამების, რომელიც სპეციფიკურია ნაკადის ერთი ნატბორიდან მეორეში გადასვლის არისათვის. ჩქერი როგორც ორი ნატბორის დაღრმავების შეუღლების გეომეტრიული ფორმა და ჩქერი როგორც ორი ნატბორის ცირკულაციურ დინებათა შეუღლების პიდროდინამიკური ფორმა წარმოადგენს ერთი და იმავე მოვლენის ორ მხარეს; ჩქერის მდგრადობაც იმის პირდაპირი შედეგია, რომ ორი ნატბორის პიდროდინამიკური შეუღლება შეიძლება მხოლოდ და მხოლოდ ზემოაღნიშნული ხერხის საშუალებით. ა. ლოსიევსკის დასკვნები მთელი პროცესის ანალიზის შესახებ უდავოდ დიდმნიშვნელოვანია.

მეტად საინტერესო გამოკვლევები აქვს ჩატარებული კ. როსინსკის ი. კუზმინთან ერთად ჩქერების ფორმის გენეზის შესახებ. მათი მონაცემები ავითარებენ ა. ლოსიევსკის დებულებებს და აფართოებენ ჩქერების შესაძლო ფორმების საინტერესო საკითხებს.

უპირველესად ყოვლისა მათ მიერ ჩატარებული ლაბორატორიული ექსპერიმენტების საფუძველზე დადგინდა იქნა, რომ ქვიშოვანი ტალღები კალაპოტში კადრაკული წესით განლაგდებიან და მათი სიმძლავრე დინების სიჩქარის პირდაპირპროპორციულია. ამავე დროს ქვიშოვანი ბორცვების განლაგება (სწორხაზოვან ექსპერიმენტალურ ღარშიც) ნატბორებისა და ჩქერების შეთანწყობის შუაგულად ხდება. ასე რომ, ქვიშოვანი ტალღები მდინარის დინების მიკრორელიეფს კი არ წარმოადგენს, რომელიც თითქოს არაფრით არ არის დაკავშირებული მის მაკრორელიეფთან, როგორც წინათ ფიქრობდნენ, არამედ ორივე გენეტიკურად ერთგვაროვან ფორმაციებს წარმოადგენენ. თითოეული ბორცვი შეესაბამება ჩქერის გვერდულებს და თითოეული ჩაღრმავებული ნაწილი ორ ბორცვს შორის კი ნატბორის ღარტაფს. ექსპერიმენტით მიღებული შედეგი სრულიად ემსგავსება მდინარეში ნატბორისა და ჩქერის მონაცვლეობას.

ამ ექსპერიმენტების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება შემდეგი დასკვნების გაკეთება:

1. ტურბულენტური მოძრაობა მდინარის რეცხვად კალაპოტში აუცილებლად ქმნის ძირის ჩქერულ ფორმას.

2. ნატბორების უბანი შეიძლება წარმოიშვას მხოლოდ ისეთ ნაკადში, სადაც ცალმხრივი ცირკულაციის შექმნის შესაძლებლობა არსებობს.

ავტორების მიერ განხილულ იქნა ის შემთხვევებიც, როდესაც, როგორც კალაპოტის ძირი, ისე ნაპირები რეცხვადია. მაშინ კალაპოტის დეფორმაციის სამ შემთხვევას შეიძლება ჰქონდეს ადგილი:

პ ი რ ვ ე ლ ი — როდესაც ნაპირების გარეცხვა ნატბორების ღარტაფების ზონაში გაცილებით ნელი ტემპით წარმოებს, ვიდრე ნალექების ჩამოტანის პროცესი. მაშინ ადგილი აქვს ნაპირების გარეცხვას და მის გადაადგილებას ქვევით, დინების მიმართულებით, რომელსაც თან სდევს ნატბორის ღარტაფების გადანაცვლებაც. ამ შემთხვევაში გვერდით გარეცხვებს პერიოდული ხასიათი აქვს ორივე ნაპირზე ერთდროულად, რას შედეგადაც ხდება მდინარის კალაპოტის გაგანიერება გარკვეულ საზღვრამდე. ფსკერის ზედმეტი სიგანის დროს იქმნება დიდი წინააღმდეგობა წყლის მოძრაობასადმი. მაშინ ზოგიერთი გვერდულა გამოეყოფა კალაპოტის ნაპირს და გადაიქცევა მეჩჩეხებად (осередки), რის შემდეგაც ზოგიერთი ნატბორის ღარტაფი ილექება და მდინარის კალაპოტი ვიწროვდება.

ამრიგად, მდინარის კალაპოტის გაგანიერებისა და შევიწროების პროცესი მონაცვლეობენ და ეს მონაცვლეობა პერიოდულ ხასიათს ატარებს.

მ ე ო რ ე **შ ე მ თ ხ ვ ე ვ ა** — როდესაც ნატბორების ღარტაფებისა და კალაპოტის ნაპირების გარეცხვა უფრო ინტენსიურია, ვიდრე ზევიდან ჩამოტანილი ნალექების რაოდენობა, მაშინ ცირკულაციური მოძრაობის შედეგად ნატბორების ზონაში ხდება ნაპირის შეზნექვა, რაც კიდევ უფრო აძლიერებს ცირკულაციურ მოძრაობას და მდინარის კალაპოტი თანდათან იღებს მეანდრების ფორმას.

მ ე ს ა მ ე **შ ე მ თ ხ ვ ე ვ ა** — როცა კალაპოტის ნაპირების რეცხვადობა კიდევ უფრო სწრაფად მიმდინარეობს, ვიდრე მეანდრირების დროს. მაშინ ჩამოტანილი ნალექები ბორცვების სახით ვეღარ ასწრებენ ნაპირებთან მისვლას და გადაიქცევიან მეჩჩეხებად და კუნძულებად (осередки и острова). ამის გამო მდინარე დაიყოფა რამდენიმე ცალკეულ ტოტად, რომელთა მოხვეულობებს მეანდრების ფორმა არა აქვს. მდინარე ღებულობს დატოტვილ სახეს, სადაც ხან ერთი ტოტია მთავარი დინების შემცველი, ხან მეორე.

ავტორების მიერ გამოთქმულია აზრი, რომ მეანდრირების მდგრადი ფორმა დამახასიათებელია მცირე ან საშუალო სიძლიავრის მდინარეებისათვის. დიდი ხარჯის მქონე მდინარე შეესაბამება პირველ შემთხვევას, ე. ი. მასში ხდება პერიოდული გაგანიერებისა და შევიწროვების პროცესები. მაგალითისათვის მოყავთ მდინარეები ვოლგა და დნეპრი, რომელთა მეანდრირება გაცილებით სუსტია, ვიდრე ეს შეიმჩნევა ოკაზე, ვიატკასა და სხვა მდინარეებზე.

ყველა ზემოთქმულს ნაკადისა და კალაპოტის ურთიერთქმედების შესახებ იმ დასკვნამდე მივყევართ, რომ ნაკადმა რეცხვად კალაპოტში

უნდა შექმნას თავისთვის მეტად ბუნებრივი ფორმა, და მაშასადამე, ეს ფორმა ცოტად თუ ბევრად უნდა იყოს მდგრადი. თუ მდინარის ნაკადმა თავისი კალაპოტის განვითარების პროცესში ვერ მიაღწია ისეთ კვეთს, რომელიც ქმნის მისთვის დინამიკური წონასწორობის პირობებს, მაშინ მუდამ ექნება ადგილი მისი კალაპოტის ფორმის შეცვლას და დარღვევებს. წინააღმდეგ შემთხვევაში მდინარეებს მდგრადი ფორმა ახასიათებს.

როგორც აღნიშნული იყო, ლობტინი ყველა მდინარეს მდგრადობის მიხედვით ორ კატეგორიად ჰყოფდა. მიიღო რა მდგრადობის ძირითად კრიტერიუმად იმ ნაწილაკების ზომა, რომელთაგანაც შედგებოდა მდინარის კალაპოტი, და ქანობი, ლობტინი, მიუხედავად ამისა, მიუთითებდა სხვა ფაქტორებზეც, რომლებიც გავლენას ახდენენ მდინარის თვისებაზე.

მ. ბასინიც აგრეთვე სთვლის, რომ გარეცხვის პროცესი დამოკიდებულია არა მარტო ქანობის სიდიდესა და გრუნტის ნაწილაკების სიმსხოზე. ერთი და იმავე ქანობის დროს დინების სიჩქარის სიდიდე და ტურბულენტობის ხარისხი განისაზღვრება ასევე ნაკადის სიღრმით, კალაპოტის ხორკლიანობითა და მისი ფორმით გეგმასა და პროფილში. მაშასადამე, კალაპოტის გარეცხვის პროცესის ინტენსიურობა დამოკიდებულია ამ უკანასკნელ მიზეზებზეც.

მაგრამ, მდინარის ქანობი და იმ გრუნტის ძვრადობის ხარისხი. რომელშიც ის მიეღიწება, მაინც უნდა ჩაითვალოს ძირითად ფაქტორებად, რომლებიც განსაზღვრავენ მდინარის კალაპოტის მდგრადობას.

მდინარეთა რეგულირების საკითხის სწორად გადაწყვეტისათვის საჭირო შეიქნა ყველა კალაპოტშიგა ფაქტორის ცოდნა, რომლებიც მონაწილეობას ღებულობენ ამ რთულ პროცესში, ნაკადისა და კალაპოტის ურთიერთქმედების კანონების ცოდნა. კალაპოტი მართავს ნაკადს, აყალიბებს მის სიჩქარეთა არეს. ამასთან ერთად ნაკადი სიჩქარეთა განაწილებით გავლენას ახდენს თავისი კალაპოტის ფორმაზე, სახეს უცვლის მას ერთ უბანზე გარეცხვისა და მეორე უბანზე დარიყვის გზით, აწარმოებს დინების დაყოფებით გამონარეცხი მასალის — ნატანის გადატანას და ქმნის თავისთვის ისეთ კალაპოტს, რომელიც შეეფერება მის სიჩქარეთა არეს. ამრიგად, კალაპოტშიგა ნაკადი წარმოადგენს ელემენტარულ მოვლენათა კომპლექსს, რომლებიც საბოლოო ანგარიშში დაიყვანება წმინდა მექანიკურ მოძრაობამდე: სითხის მოძრაობამდე სიმძიმის ძალის გავლენისა და მასთან (სითხესთან) შემხებ მყარ სხეულთა ფორმის ზემოქმედების გამო, ამ მყარი სხეულების მოძრაობამდე სითხის ნაკადის მოქმედების გამო. მოძრაობის ყველა ზემოაღნიშნული ფაქტორის ღრმად შესწავლის მიზნით და იმ კანონზომიერებათა მისაღებად, რომლებიც მოძრაობის ამ ელემენტარულ სახეებს აკავშირებენ მთლიან მექანიკურ კომპლექსში, საჭირო იყო სპეციალური დისციპლინის შექმნა. ეს საკითხები, როგორც ცალკე

დისციპლინა კალაპოტშიგა ნაკადების დინამიკის სახელწოდებით, პირველად გამოჰყო ფნობილმა საბჭოთა მეცნიერმა მ. ველიკანოვმა. ამ ახალი დისციპლინის წარმოშობა დაკავშირებულია სწორედ საბჭოთა ჰიდროლოგიის სპეციფიკურობასთან, აღნიშნავდა იგი. მან დაწვრილებით შეისწავლა თავის წინამორბედების — ამ საქმის პატრიოტების ნაშრომები მდინარის ნაკადის შესახებ, ჩაატარა ამ ნამუშევართა ვრცელი ანალიზი, შეძლო ამოედო მათგან რაციონალური მარცვალი და შეევსო ისინი თავისი მდიდარი გამოკვლევებითა და თეორიული დასაბუთებებით. მისი მეცნიერული ნაშრომების დამახასიათებელ თვისებას წარმოადგენს კალაპოტშიგა ნაკადის ცალკეული პროცესების არა ერთმანეთისაგან მოწყვეტით შესწავლა, არამედ მათი განხილვა ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებთან ურთიერთკავშირში.

კლიმატური და მეტეოროლოგიური ფაქტორები, მისი რელიეფის ადგილმდებარეობა და დედამიწის ქერქის ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები ერთად განაპირობებენ კალაპოტშიგა ნაკადის ბუნებას.

მისი ნაშრომი „ხმელეთის ჰიდროლოგია“, რომელიც რამდენიმეჯერ გამოიცა, ძვირფასი განძია მეცნიერული ცოდნის განვითარებაში ბუნებრივი წყალსატევებისა და დედამიწის ზედაპირზე წყლის მოქმედების შესახებ. ამ წიგნში გარდა სხვა საკითხებისა განხილულია წყალსატევების ჰიდრომექანიკა, ნატანის მოძრაობა და კალაპოტშიგა პროცესები.

წიგნში „კალაპოტშიგა ნაკადების დინამიკა“ მოცემულია სითხის ნაკადის და რეცხვადი ფსკერის ურთიერთქმედების ღრმა თეორიული და პრაქტიკული ანალიზი. დაწვრილებით დამუშავებულია საკითხები. ჰიდროდინამიკის საფუძვლები, ტურბულენტური მოძრაობა კალაპოტშიგა ნაკადის პირობებში, ნატანის მოძრაობა. უმთავრესად დამყარებული ავტორის თეორიულ გამოკვლევებზე, და ბოლოს, კალაპოტშიგა პროცესები კალაპოტის და ნაკადის ურთიერთქმედების ფონზე.

ვ. ლოხტინის კალაპოტის მდგრადობის კოეფიციენტი მან გარდაქმნა და მოგვცა მისი უფრო სრულყოფილი გამოსახულება შემდეგი სახით:

$$\eta = \frac{gD}{u^2}. \quad (28)$$

კოეფიციენტის მნიშვნელობა მოცემულია კალაპოტის მოძრავი ნაწილაკების დიამეტრისა და ნაკადის სიჩქარის მიხედვით, რითაც არათუ ადვილდება კოეფიციენტის გამოთვლა, არამედ შედეგებიც გაცილებით ზუსტი გამოდის.

აკადემიკოსმა ველიკანოვმა მოგვცა მდინარეების ახალი გრადაცია მდგრადობის ხასიათის მიხედვით და ვ. ლოხტინთან განსხვავებით ყველა მდინარე დაჰყო ხუთ კატეგორიად:

1. მდინარეები, რომლებშიც წყალდიდობა მარტო კალაპოტის სიღრმეს კი არ ცვლის, არამედ თვითონ კალაპოტის მოხაზულობასაც, წარმოშობს რა გარღვევებს ახალი მიმართულებებით; ნარეცხი პროდუქტების დარიყვა კი წარმოქმნის წანაზარდს, რომლის დაძლევა საშუალო დონისეულ ნაკადს შეუძლია მხოლოდ ახალი კალაპოტის დამუშავების გზით. ესაა უმცირესი მდგრადობის მქონე მდინარეები, რომელთაც აბასიათებს დიდი სიჩქარე გრუნტის ადვილი ძვრადობის დროს. სსრ კავშირში ამის მაგალითია: ამუ-დარია, თერგის ქვემო წელი და კავკასიის ზოგიერთი სხვა მდინარე.

2. მდინარეები, რომლებშიც გარეცხვა და დარიყვა ცვლის მხოლოდ კალაპოტის იზობატების მოხაზულობას; თვითონ კალაპოტი კი გეგმაში შედარებით უცვლელი რჩება (რასაკვირველია, თუ მხედველობაში არ მივიღებთ სანაპირო ხაზების ნელ გადაადგილებას). დაღრმავება და წაზრდა მდინარეში წარმოებს უწესრიგოდ — ხან ერთ, ხან მეორე ადგილას, ჩქერებისა და ნატბორების განლაგება იცვლება წლიდან წლამდე. ესაა მცირე მდგრადობის მქონე ვაკის მდინარეები, რომელთა მაგალითს წარმოადგენს მდ. ვისლა, მდ. მდ. მტკვრისა და რიონის ქვემო წელი.

3. მდინარეები, რომლებშიც დაღრმავება და წაზრდა ხორციელდება პეროდულად ერთსა და იმავე ადგილებში, ამასთან ჩქერების საგაზაფხულო წაზრდისა და საშუალო დონისეული დაღრმავების სიდიდეები ერთმანეთს უტოლდებიან. ასეთი ტიპის მდინარეებზე ჩქერებს აქვს მუდმივი ხასიათი და თითქმის მუდმივი მოხაზულობანი, რომლებიც მხოლოდ პეროდულად მერყეობენ დაახლოებით საშუალო მნიშვნელობათა ფარგლებში. ამ კატეგორიის მდინარის მაგალითად შეიძლება ჩავთვალოთ მდ. ვოლგა და მდ. მდ. მტკვრის, რიონის და სხვ. შუა წელი.

4. მდინარეები, რომლებიც მიედინებიან მცირე რეცხვად გრუნტებში ატივიტივებული და ფსკერული ნატანის უმნიშვნელო რაოდენობით. ასეთია მსხვილკენჭოვანი ფსკერის მქონე მდინარეები: ენისეი, ტომი და სხვ.

5. მდინარეები, რომლებიც მიედინებიან კლდოვან, სრულიად არარეცხვად გრუნტებში, რომლებშიც თითქმის არ ჩანს ნაკადის გავლენა კალაპოტზე. ეს არის მეტად მდგრადი მდინარეები. მაგალითად, ამიერკავკასიის მდინარეები მთიან ნაწილში.

ადვილი შესამჩნევია, რომ მ. ველიკანოვის კლასიფიკაციაში მდინარეთა კატეგორიები განლაგებულია ლობტინის კოეფიციენტის თანდათანობითი გადიდების წესით. თუ ამ კოეფიციენტის გამოთვლისას ნაწილაკების საშუალო დიამეტრს ავიღებთ მილიმეტრებში, ვარდნას კი მეტრებში მდინარის ერთი კილომეტრის სიგრძეზე, მაშინ მ. ლვოვიჩის გამოანგარიშებით მდინარეთა პირველი კატეგორიისათვის ლობტანის კოეფიციენტი იქნება არა უმცირეს 2,5-ისა, უკანასკნელისათვის კი — 20-ზე მეტი.

V. სარეზულაციო ღონისძიებანი

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ნაკადის ზემოქმედება კალაპოტზე იწვევს ნაპირების გარეცხვას და მათზე წყლის გადაღინებას, რასაც ზოგიერთ შემთხვევაში არასასურველი შედეგი მოჰყვება. ასეთ მოვლენებს ხშირად აქვს ადგილი მთის მდინარეებზე, დიდი ქანობებისა და სიჩქარეების გამო. ამიტომ კალაპოტის რეგულირების საკითხს მეტად აქტუალური სახალხო-მეურნეობრივი მნიშვნელობა აქვს. ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ რაც შეიძლება რაციონალური და ეკონომიური გადაწყვეტილება მივიღოთ, რათა გავაიაფოთ ჰიდროტექნიკურ ღონისძიებათა კომპლექსი. ჩვენს ქვეყანაში ყველა საჭირო პირობაა შექმნილი მეცნიერებისა და სპეციალისტებისათვის ნაყოფიერი მუშაობის საწარმოებლად ამ დარგში.

სამეცნიერო-საკვლევო ინსტიტუტებისა და უმაღლეს სასწავლებელთა ჰიდროტექნიკურ ლაბორატორიებში ფართო მასშტაბით ტარდება კალაპოტშივა პროცესების თეორიული, ლაბორატორიული და საველე გამოკვლევები; მუშავდება ახალი, სრულყოფილი მეთოდები და ნაგებობათა კონსტრუქციები.

საბჭოთა მეცნიერებმა ე. ზამარინმა, დ. სოკოლოვმა, მ. სრიბნიმ, ა. მილოვიჩმა, კ. მიხაილოვმა, ვ. შაუმიანმა, ს. ალტუნინმა, ვ. მაკავეევმა და სხვებმა წყლის ნაკადის შიგა მექანიზმის შესწავლის საფუძველზე შექმნეს საბჭოთა ჰიდროტექნიკის სრულიად ახალი მიმართულება, მეცნიერულად დაასაბუთეს წყლის ნაკადის რეგულირების შესაძლებლობა, მის ჰიდრაულიკურ სტრუქტურაზე ზემოქმედების გზით. მათი გამოკვლევების საფუძველზე აგებულია მრავალი ახალი ტიპის საინჟინრო ნაგებობა, რომლებიც წარმატებით მუშაობენ. ასეთი სამუშაოები ტარდება ყველა მოკავშირე რესპუბლიკაში, ჩვენი თვალუწვდენელი სამშობლოს ყველა კუთხეში.

საბჭოთა ხელისუფლების დამყარების შემდეგ საქართველოში შესაძლებელი შეიქმნა ჰიდროტექნიკისა და მელიორაციის სამეცნიერო-საკვლევო ინსტიტუტის დაარსება. მისმა ჰიდროტექნიკურმა ლაბორატორიამ საშუალება მისცა მეცნიერ მუშაკებს ნაყოფიერი მუშაობა აწარმოონ ჰიდროტექნიკური მშენებლობის რთული საკითხის გადასაჭრელად რესპუბლიკის მთიან რელიეფის პირობებში.

ჩვენი რესპუბლიკის მდინარეთა დამახასიათებელი თავისებურებაა ხარჭებისა და სიჩქარეების მნიშვნელოვანი და უეცარი ცვლილება, ნაპირების ინტენსიური რეცხვა და ამის შედეგად ნაგებობებით, შენობებითა და მიწის სავარგულებით დაკავებული ცალკეული ნაკვეთების განადგურება და წალეკვა. სარეზულაციო ღონისძიებათა შემუშავების დროს საჭი-

როა ამ სპეციფიკურობის გათვალისწინება და ამის საფუძველზე შესაფერ კიდროტექნიკურ ნაგებობათა დაგეგმარება.

ნაპირების გარეცხვა წარმოებს მაშინ, როდესაც კალაპოტს არ შესწევს საკმარისი უნარი წინააღმდეგობა გაუწიოს ნაკადის ჰარბ ენერჯიას მდინარის მოცემულ უბანზე. ამიტომ ნაპირების გასამაგრებლად და, მაშასადამე, გარეცხვის თავიდან ასაცილებლად საჭიროა ან გავზარდოთ კალაპოტის გარეცხვისადმი წინააღმდეგობა, ან ხელოვნურად შევამციროთ ნაკადის ენერჯია მოცემულ უბანზე. აქედან გამომდინარე, ნაპირსაცავი ნაგებობანი თავის მუშაობისა და ნაპირზე ზემოქმედების პრინციპის მიხედვით შეიძლება დაყვით ორ ძირითად ჯგუფად:

1. პასიურად მოქმედი ნაგებობანი (გრძივი);
2. აქტიურად მოქმედი ნაგებობანი (განივი).

ნაგებობათა პირველი ჯგუფი აძლიერებს ნაპირის წინააღმდეგობას და არ ცვლის ნაკადის ძირითად ჰიდრაულიკურ ელემენტებს — მოძრაობის სიჩქარეს, სიღრმეს და ა. შ.; ნაგებობათა მეორე ჯგუფი კი, რომელიც დეზების სისტემისაგან შედგება, აქტიურ ზეგავლენას ახდენს ნაკადის სტრუქტურაზე. ამასთან ერთად უნდა აღინიშნოს, რომ ნაპირების დაცვა განივი ნაგებობებით უფრო იაფი ჯდება, გრძივი ნაგებობებთან შედარებით, მათი საერთო სიგრძის სიმცირის გამო. მაგრამ გრძივი ნაგებობებსაც აქვს თავისი უპირატესობანი — მათი მშენებლობის პროცესი შედარებით იოლია და ისინი ნაკლებად სცვლიან ნაკადის ჰიდრაულიკურ რეჟიმს. ამ ტიპის ნაგებობებს უმთავრესად მიმართავენ დასახლებული პუნქტების დასაცავად.

ნაპირსაცავ ნაგებობათა დაგეგმარების დროს ჯეროვნად უნდა იქნეს აწონდაწონილი ორივე ტიპის ნაგებობათა დადებითი და უარყოფითი მხარეები და სათანადო ანალიზის შედეგად მიღებულ იქნეს გადაწყვეტილება.

ზემოაღნიშნული ნაგებობანი კონსტრუქციის მიხედვით იყოფა ორ ძირითად ჯგუფად — მუდმივი და დროებითი. მუდმივი ნაგებობანი წარმოადგენენ ბეტონისაგან, რკინა-ბეტონისა და სხვა მასალებისაგან გაკეთებულ საინჟინრო კონსტრუქციებს, დროებითი ნაგებობანი კი იქმნება ადგილობრივი მასალებისაგან — ქვისაგან, ფიჩხისაგან, ხე-ტყისაგან და სხვ. ამიტომ ეს ნაგებობანი არახანგრძლივია, მაგრამ სასწრაფო ზომების მიღების საჭიროება და ფულადი სახსრების სიმცირე გვაიძულებს ხანდახან მივმართოთ ასეთი ტიპის ნაგებობებს.

ქვემოთ მოგვეყვავს ნაპირსამაგრ ნაგებობათა ზოგიერთი ტიპი და კონსტრუქცია.

1. ღროვათ ნაგავოათა ზოვიართი ტიაი

გამაგრება ბუჩქნარებითა და ხეებით

თუ მდინარეში სიჩქარე 2—2,5 მ/წმ-ს არ აღემატება, სანაპირო ფერდობებს ამაგრებენ ბუჩქნარებითა და ხეებით, მაგრამ მხოლოდ ისეთ შემთხვევებში, როდესაც ამ ფერდობების დატბორვა ხანგრძლივი არ არის.

მცენარის ტიპის შერჩევისას მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული ადგილობრივი ნიადაგური და კლიმატური პირობები, მაგალითად, ჩრდილოეთისაკენ მიმართულ ფერდობებზე არ შეიძლება სინათლის მოყვარული მცენარეების დარგვა, სამხრეთისაკენ მიმართულ ფერდობებზე კი — ჩრდილის მოყვარული მცენარეების.

პრაქტიკამ გვიჩვენა, რომ ნაპირის გასამაგრებლად ყველაზე გამოსადეგია ტრიიფი, რადგან მას გარდა ჩქარი ზრდისა ახასიათებს ფართოდ განშტოებული ფესვთა სისტემა და დიდი აორთქლების უნარი.

ფაშინური სამოსი

ფაშინა ეწოდება თოკით, მწვთულით ან ღვლეკით მაგრად შეკრულ ახლად მოჭრილი ფიჩხების კონას. ფაშინებს იყენებენ წყალქვეშა ნაპირების დასაცავად გამორეცხვისაგან. ადგილზე ჩაწყობილი კონების დამაგრება წარმოებს 0,5—1,5 მ სიგრძის პალოებით. ასეთ ფაშინებს მსუბუქი ეწოდება.

თუ საჭიროა კალაპოტის გამაგრება წყლის ჰორიზონტის ქვევით, მაშინ ფაშინების კონებს ჩაურთავენ ქვებს და ასეთ ფაშინებს მძიმე ეწოდება.

ქვა-ფიჩხოვანი ნაგებობანი

ეს ნაგებობა წარმოადგენს ფიჩხისა და ქვის წყობას მორიგეობით. ჯერ ლაგდება ფიჩხის შრე 15 სმ სისქით, მასზე იყრება ქვა 30 სმ სისქით. ამასთანავე ნაგებობის კონტურის გაყოლებით ლაგდება დიდი ზომის ქვები. ასეთი ნაგებობანი კეთდება ჰავლმომმართველი დეზების ან ნაპირდამცველი სარტყელის სახით.

ქვა-ფიჩხოვანი ნაგებობანი განსაკუთრებით გამოყენებულია დასავლეთ საქართველოს მდინარეებზე ნაპირსამაგრი ღონისძიებების ჩასატარებლად. ამ ტიპის დამბები შენდება იქ, სადაც ფიჩხი და რიყის ქვა ადვილად დასამზადებელია და ახლო მანძილზეა დაცილებული დასაცავი ობიექტიდან. ამ ტიპის ნაგებობის უპირატესობას წარმოადგენს ის, რომ სამუშაოს წარმოება შეიძლება წყალდიდობის პერიოდში, თუ ამისი აუცილებლობა შექმნილია მოულოდნელი სტიქიური ნიაღვრების შედეგად.

ქვა-ფიჩხის სარეგულიაციო --- დამცველი დამბები კეთდება არასაინ-
ჟინრო სარწყავი არხების წყლის უზრუნველსაყოფად მდინარეებში დაბა-
ლი ჰორიზონტებისა და მცირე ხარჯების დროს. ხშირად დიდი სიღრმე-
ების მქონე მდინარეებში ბეტონის ან გაბიონის ნაგებობის საძირკველი
ქვა-ფიჩხის ლეიბისაგან შენდება. უნდა აღინიშნოს, რომ ასეთ შემთხვე-



ნახ. 29. მღ. არაგვის ნაპირის გამაგრება ქვა-ფიჩხიანი დამბით.

ვაში, როდესაც ქვა-ფიჩხის წყობა მუდმივად წყლის ჰორიზონტის ქვეშ
არის მოქცეული, დიდხანს სძლებს (ფიჩხი არ ლბება).

29-ე ნახ-ზე მოცემულია მდინარე არაგვის ნაპირის გამაგრება წითელი
სოფლის უბანზე ქვა-ფიჩხოვანი დამბით.

ამ ნაგებობების დადებით მხარეს წარმოადგენს: კონსტრუქციის ელას-
ტიკურობა, სწრაფად აგებისა და ადგილობრივი მასალების გამოყენების
შესაძლებლობა.

ამ ნაგებობათა ნაკლია - ჩათი სამსახურის მოკლე ვადა.

სიპაის ტიპის ნაგებობანი

სიპაი შედგება 3 ან 4 ფეხისაგან, რომლებიც შეკრულია პირამიდის-
მაგვარად. ერთი მეტრის სიმაღლეზე მას უყეთდება სარტყელი, რომელ-
ზეც განლაგდება ლატანები და ფიჩხი, შემდეგ მათზე იყრება ქვები და ამ
ლატეირთვის გავლენით სიპაის ფეხები თანდათან ჯდება ყაშირში. სარტყე-
ლი იძირება ფსკერამდე.

როდესაც სიპაი იდგმება დახრილძირიან კალაპოტში, მის ფეხებს სხვადასხვა სიგრძისას აკეთებენ, რათა დაჯდომა რაც შეიძლება თანაბრად მოხდეს.

იმ შემთხვევაში, როდესაც სიპაის ნაგებობა კეთდება ნარწყულში (მშრალ კალაპოტში), ფეხებს სვამენ სიღრმეში მოსალოდნელი გარეცხვის ნიშნულის ქვევით, რომლის შემდეგაც ტვირთავენ ქვით.

ზოგიერთ შემთხვევაში ნაპირსაცავი დეზები კეთდება სიპაისა და ქვა-



ნახ. 30. მდ. ლიახვის ნაპირის გამაგრება სიპაის ტიპის დამბით.

ფიჩხის წყობის ერთობლივი ნაგებობის სახით. ასეთი დეზის კონსტრუქცია უფრო მდგრადია, ვიდრე ქვა-ფიჩხის ან სიპაის დეზი ცალკე.

30-ე ნახაზზე ნაჩვენებია სიპაის ტიპის დამბა, რომელიც აგებულია მდ. დიდ ლიახვზე სოფ. ძევერასთან.

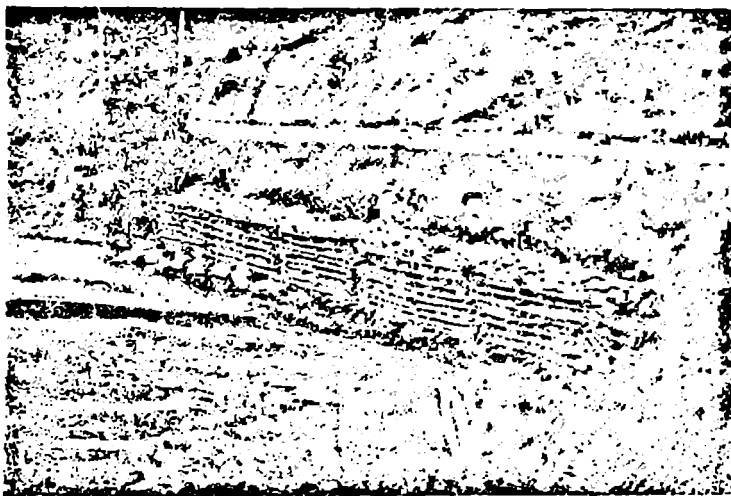
ძელყორის ნაგებობანი

ძელყორის ნაგებობები გამოიყენება მდინარის ნაპირების დასაცავად გამორეცხვისაგან, ზღუდარების მოსაწყობად და სხვა. გრძივად და განივად შეკრული ხის ძელებისაგან იქმნება უჯრედები, რომლებიც ამოივსება ყორე ან ფლეთილი ქვით. იმ შემთხვევაში, როდესაც ქვა შორი მანძილიდანაა მოსაზიდი და იგი მნიშვნელოვნად აძვირებს ნაგებობას, ძელებისაგან შექმნილი უჯრედი ამოიფიცრება და შემდეგ ამოივსება კალაპოტის ალუვიონით. ზოგიერთ შემთხვევაში ძელყორის დამბებს ამაგრებენ ნია-

დავში ხის ან რკინის ხიმინჯების საშუალებით, რაც უზრუნველყოფს ნაგებობის დაცვას ძვრისაგან.

ძელუორის ნაგებობა ადვილად და სწრაფად იგება, გამოიყენება ყოველნაირი კლიმატური პირობების დროს.

ძელუორის ნაგებობები საკმარისად მდგრადია; მხოლოდ მდინარის კორიზონტების ცვლილებების დროს, თუ იგი პერიოდულად ხან წყლით



ნახ. 31. ძელუორის დამბა მდ. ჩხერიმელაზე.

იფარება და ხან კი წყლის ზევით რჩება, ხის ძელები ჩქარა იწყებენ ლპობას, რის შედეგად ნაგებობა მალე გამოდის წყობიდან. ასეთ შემთხვევაში მისი სამსახურის ვადა 10—12 წლით განისაზღვრება.

უკანასკნელ პერიოდში გამოყენებას პოულობს რკინაბეტონის ძელუორე. მისი გრძივი და განივი ელემენტები ოთხკუთხოვანი რკინაბეტონის ძელებისაგანაა შემდგარი, რომლის კვეთი დაახლოებით 16 X 20 სმ-ია. რასაკვირველია, რკინაბეტონის ძელუორე უფრო მდგრადია, ვიდრე ხის.

31-ე ნახაზზე ნაჩვენებია ძელუორის დამბა მდ. ჩხერიმელაზე რკინიგზის სადგურ ძირულას მახლობლად.

ხიმინჯოვანი ნაგებობანი

ხიმინჯოვანი კედლები კეთდება ხისაგან, რკინაბეტონისა და ლითონისაგან. ხიმინჯები ესობა როგორც ცალ-ცალკე, ისე მწყკრივად (ნარანდიანი მწყკრივი).

ცალ-ცალკე დასობილ ხიმიწვებს აკრავენ ფიცრებს, ნაგვერდულებს, წნულ-ლობებს, სივრცეს კი შემონაკერსა და ფერდობს შორის ავსებენ ქვითა და ბალასტით. ზოგიერთ შემთხვევაში ასევე ქვით ავსებენ მწკრივისა და ნაპირს შორის დარჩენილ არეს.

სოფ. ნაფალაოსთან მდინარე ცხენისწყალმა მეცხოველეობის ფერმისა და ათვისებული მიწების გარეცხვის საშიშროება შექმნა. დიდი ხარჯებისა



ნახ. 32. მდ. ცხენის წყლის ნაპირის გამაგრება რელსების მწკრივით.

და მნიშვნელოვანი სიღრმეების გამო ძნელი შეიქნა ნაპირის დაცვა ჩვეულებრივი დროებითი ხასიათის ნაგებობებით. ამის გამო ჩატარდა შემდეგი ღონისძიება: თითქმის ვერტიკალურად მყოფი გარეცხილი ნაპირი ქანობით იქნა დამუშავებული. ამ ფერდობის გარეცხვისაგან დასაცავად მოეწყო 0,8—1,0 მ სისქის გაბიონის ფენილი. ძირის დასაცავად ნაპირის გასწვრივ ჩასობილ იქნა ხმარებიდან გამოსული რელსების რიგი, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებული იყო ჰორიზონტალური სარტყელით. ეს უკანასკნელი სპეციალური ბაგირების საშუალებით ჩამაგრებულ იქნა ნაპირზე აგებულ საანკერო კედლებში.

32-ე ნახაზზე ნაჩვენებია ზემოაღნიშნული უბნის გამაგრება რელსების მწკრივით, რომელიც წლების მანძილზე კარგად იცავს ნაპირს გარეცხვისაგან.

ქვით გამაგრება

ნაყარი ქვით ნაპირის გამაგრება მეტად საიმედო ღონისძიებაა იმ შემთხვევაში, თუ ნაპირის ფერდს მყარი საფუძველი აქვს. წინააღმდეგ შემთხვევაში ნაპირის ამ მძიმე სამოსს შეუძლია გამოიწვიოს ფერდის დეფორმაცია. ამ ნაგებობის დადებითი თვისებებია მისი ელასტიურობა და ხაოიანობის დიდი კოეფიციენტი.

ყრილის ზოგიერთ უბანზე გამორეცხვის შემთხვევაში ცალკეული ქვები ადვილად გადაადგილდებიან და ავსებენ ამ ადგილებს.

ქვის წონა და ზომები დამოკიდებულია ნაკადის სიჩქარეზე, ტალღის სიძლიერესა და გასამაგრებელი ნაპირის ქანობზე.

ქვის წონა გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$Q = \frac{7 \cdot 2\gamma\psi (2h)^3}{(\gamma-1)^3},$$

სადაც Q ქვის წონაა ტონებში;

γ — ქვის მოცულობითი წონა, ტონა/მ³;

$2h$ — ტალღის სიმაღლე, მ;

$$\psi = \left[\frac{\sqrt{1+m^2}}{m(m+2)} \right]^3$$

ეს უკანასკნელი გამოითვლება შემდეგი ცხრილით:

m	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
ψ	0,039	0,022	0,014	0,0093	0,0069	0,0049	0,0034

როდესაც მდინარეში გრძელი ტალღებია ($\frac{2L}{2h} > 15$), მაშინ კოეფიციენტის მნიშვნელობა 7,2-ის მაგიერ აიღება 8,5 ($2L$ ტალღის სიგრძეა).

ქვის ყრილის სისქე ქვის ორმაგ ზომაზე ნაკლები არ უნდა იყოს და გამოითვლება ფორმულით:

$$c \geq \sqrt{\frac{Q}{\gamma}},$$

სადაც Q ქვის საანგარიშო წონაა ტონებში;

γ — ქვის მოცულობითი წონა, ტონა/მ³;

თუ ქვის წონა მეტრამეტად დიდი გამოვირდა, მაშინ საჭიროა ნაპირის ქანობი შევამციროთ ან გადავიდეთ გამაგრების სხვა ტიპზე — ბეტონის ან რკინა-ბეტონის ფილებით გამაგრებაზე.

ქვის ყრილით გამაგრების სამუშაოები ადვილად შესასრულებელია. მისი რენტაბელობა დამოკიდებულია ქვის ზიდვის მანძილზე — კარიერი-



ნახ. 33. მდ. რიონის ნაპირის გამაგრება ნაყარი ქვით.

დან დასაცავ ობიექტამდე. ეს ტიპი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს მდინარეებში, სადაც ნაკადის სიჩქარე 1—3 მ/წმ-ია.

ქვის ყრილითაა გამაგრებული მდ. რიონის ზოგიერთი უბანი.

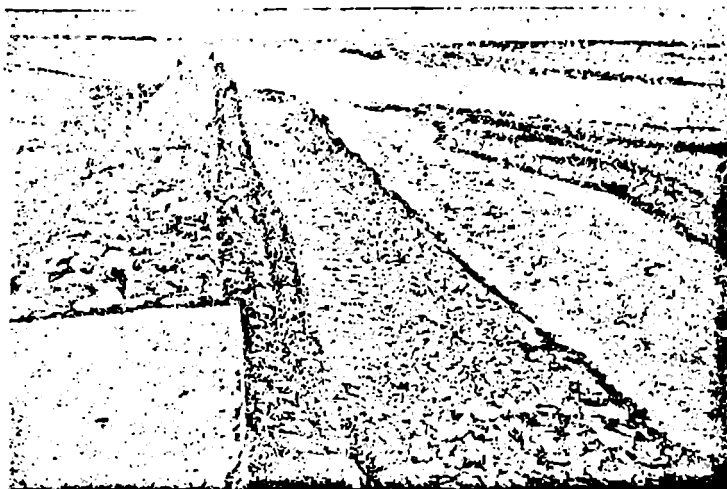
33-ე ნახაზზე ნაჩვენებია მდ. რიონის მარჯვენა ნაპირის გამაგრება ქვის ყრილით სოფ. ზემო ქალადიდან.

გაბიონის ნაგებობანი

ამ ტიპის ნაგებობანი ნახევრად კაპიტალურად ითვლება. ისინი წარმოადგენენ მავთულისაგან დაწნულ ქვით ამოვსებულ ყუთებს. გაბიონში გამოიყენება 3—5 მმ-იანი მავთული. გაბიონის ყუთის სიგანე 1,0—1,5 მ-ია, სიმაღლე — 0,25—1,5 მ, სიგანე კი — 6 მ-მდე.

ნაგებობის კონსტრუქცია საფეხურებიანია. ამასთანავე ქვედა შრე წინაა გაშვერილი, ხშირად რამდენიმე მეტრით; იგი ნაკლები სისქისაა და მას ლეიბი ეწოდება.

გაბიონის დადებით მხარეს წარმოადგენს მისი დამზადების სიმარტივე და ნაგებობის ელასტიურობა; მისი ნაკლია ის, რომ უხვნატანიან მდინარეში მავთული შედარებით მალე იცვითება.



ნახ. 34. გაბიონის დეზი მდ. ცხენისწყალზე.



ნახ. 35. გაბიონის დეზი გამკოლი თავით მდ. ინგურზე.

გაბიონის დეზის სუსტ ადგილს წარმოადგენს მისი თავი, რომელიც წყალდიდობის პერიოდში განიცდის ნაკადის ინტენსიურ დარტყმებს და ხშირად ინგრევა. გაბიონის დეზების მეტი ეფექტურობისათვის ამ ბოლო დროს ინერგება ნაგებობათა ახალი ტიპის, ე. წ. გაბიონის გამჭოლი დე-ზები.

35-ე ნახ-ზე მოცემულია გაბიონის დეზი, გამჭოლი თავით მდ. ინგურ-ზე სოფ. კოკთან.

მდინარეების შემოზვინვა

სასოფლო-სამეურნეო სეარგულებისა და ნაგებობათა უსაცავად დატბორვისა და წალექებისაგან მდინარის ნაპირის გაყოლებით კეთდება მიწის ზვინული. უკანასკნელს აგებენ ნაკადის ძირითადი მოქმედების ფარგლებს გარეთ — ნარწყულის უბნებზე. ამის გამო ზვინულების გაყოლებით სიჩქარეები მცირე და არარეცხვადია.

ასეთი ზვინულები უმთავრესად გაკეთებულია კოლხეთის დაბლობის წყალდენებზე.

ეს ნაგებობანი კარგად მუშაობენ მანამ, სამამ მოხდებიან ნაკადის შუბლური დარტყმის არეში.

ბუნები ახლად მოჭრილი ხეებისაგან

ახლად მოჭრილი ხეები ეწყობა რეცხვადი ნაპირის გაყოლებით, წვე-როებით წყლისაკენ, ძირები კი მაგრდება ნაპირზე ძალოებით. ხშირად წვეროებზე ხეებს აბამენ ტვირთს, რომ ტოტებიანი ნაწილი ჩაწოლილი იყოს წყალში. ნაგებობის ეს ტიპი მეტად მარტივი, იოლი განსახორცი-ელებელი და ეფექტურია. იგი კარგ შედეგებს იძლევა დიდი სიჩქარეები-სა და მსხვილი ნატანის დროსაც.

უბრალო ღრობითი სამაგრები

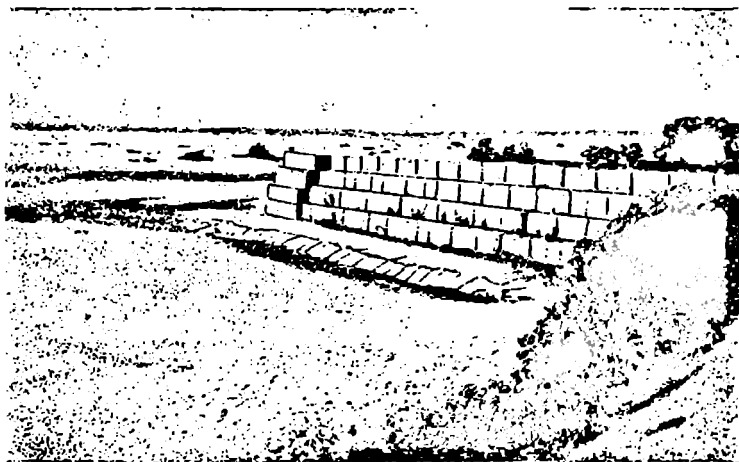
მეტად სასწრაფო შემთხვევებში რეცხვადი ნაპირებისა და მიწის ზვი-ნულების გასამაგრებლად იყენებენ შიშით სავსე ტომრებს, რომლებიც მკიდროდ უნდა იქნეს დალაგებული უსაცავ ნაპირზე.

ხანდახან მიწის ფერდობებს ამაგრებენ აგრეთვე წნულლობებით და პა-ლოებით დამაგრებული ხის ფარებით.

ბეტონის განივი დეზები

ეს ნაგებობა შედგება სამი ნაწილისაგან: ძირი, კალაპოტშიგა ნაწილი და სათავე უბანი. იგი ნაპირიდან განსაზღვრული კუთხით მიმართულია კალაპოტისაკენ და ხელს უწყობს ნაკადის განშრეებას — ზედაპირულსა და ფსკერულზე.

ნაკადის შემოქმედებას ყველაზე მეტად განიცდის სათავე უბანი, ამიტომ ნაგებობის მდგრადობისათვის ავანიერებენ და აღრმავებენ საძირ-



ნახ. 36. ბეტონის დეზი მდ. კოროხზე.

კვებს. საერთოდ დეზის მთელ სიგრძეზე ეწყობა ფართო ლეიბი ფუძის დასაცავად გარეცხვისაგან.

დეზების კონსტრუქცია სხვადასხვანაირია. ხშირ შემთხვევაში ის ბეტონის ასაკრები მასივებისაგან კეთდება.

36-ე ნახ-ზე ნაჩვენებია დეზი ბეტონის კუბურებისაგან, აგებული მდ. კოროხზე.

ქვის დეზები გამოიყენება ისეთ ადგილებში, სადაც ახლომანლო ბლომადაა ქვის საპირო მარაგი. ნაგებობის სიგანე თხემზე 1,5—3,0 მ-ს შეადგენს, ზედა გვერდის დაფერდება 1:1,5-ს უდრის, ქვედასი — 1,2-ს. თხემი და ზედა გვერდი სათავე ნაწილთან ერთად მსხვილი ქვისაგან იწყობა.

რეცხვად გრუნტებში ღეზს უკეთდება ჯაშინის ან ვაბიონის ლეიბი, რომელიც ღეზის ტანზე განიერია — ზედა მხარეზე 3—5 მ-ით და ქვედაზე — 5—10 მ-ით.

გრძივი სარტყელი

ეს ნაგებობა არ ცვლის ნაკადის მიმართულებას და, მაშასადამე, ნაკლებად მოქმედებს მის ჰიდრავლიკურ სტრუქტურაზე. სარტყელი კეთდება რეცხვადი ნაპირის გაყოლებით და დაქანებით დინებია მიმართულებით.

გრძივი სარტყელი კეთდება როგორც ბეტონის. ისე ქვისა და ვაბიონის წყობისაგან.

ნაპირის დაცვა ფილებით

მდინარის ნაპირების დაცვა გარეცხვასაგან წარმოებს აგრეთვე ბეტონისა და რკინაბეტონის ფილებისა და ბლოკების საშუალებით. ამისათვის მდინარის ნაპირს ეძლევა გარკვეული ქანობი, რომელზეც ეწყობა ქარხნული წესდღ დამზადებული ფილები ზომით, $1,0 \times 1,0$ -დან მოყოლებული $3,0 \times 3,0$ მეტრამდე. ზოგ შემთხვევაში უფრო მეტი ზომის ფილები ადგილზე ბეტონდება, რითაც მიკრდება ნაკერების საერთო რაოდენობა და, მაშასადამე, ფილტრაციაც.

ფილის საანგარიშო სისქე გამოითვლება ძირითადად იმ პირობიდან, რომ არ მოხდეს მისი ატივტივება წყლის უკუწნევის შედეგად. აქედან გამომდინარე ბ. შანკინა იძლევა შემდეგ ფორმულას [20]:

$$\delta = k(2h) \sqrt{\frac{1}{\gamma-1} \cdot \frac{2L}{mb}},$$

სადაც δ ფილის სისქეა;

$2h$ — ტალღის სიმაღლე;

$2L$ — ტალღის სიგრძე;

γ — ფილის მოცულობითი წონა;

m — დაფერდების კოეფიციენტი;

b — ფილის სიგრძე;

k არის კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა მერყეობს 0.075—0.126 შორის. ასე, მაგალითად, როდესაც მდინარის ნაპირის ვამაგრება გეინდა ვაწარმოთ ცალკეული ფილებით, რომელთა ნაკერები დახურული იქნება და ამ კონსტრუქციის მდგრადობის კოეფიციენტი 1,2-ია, მაშინ k -ს მნიშვნელობა 0,118 გამოვა.

ტალღების სიგრძისა და სიმაღლის გამოსათვლელად არსებობს ნ. ლა-ბაზოესკის ფორმულა. იმ შემთხვევისათვის როდესაც

$$\frac{H}{2L} > 0,5 \text{ და } D < 100 \text{ მ,}$$

ტალღის მთლიანი სიმაღლე ტოლია

$$2h = 0,073 k \omega \sqrt{D \varepsilon},$$

სიგრძე კი

$$2L = 0,073 \omega \sqrt{\frac{D}{\varepsilon}},$$

სადაც H არის ნაკადის საშუალო სიმაღლე მეტრებში;

D — ტალღის გავრცელების მაქსიმალური სიგრძე მეტრებში;

ω — ქარის საანაგრიზო სიჩქარე მ/წმ-ში.

$k = 1 + e \frac{-0,4D}{\omega}$ არის კოეფიციენტი, რომელიც ასახავს ტალღის ფორმირების ხასიათს;

$e = 2,72$ — ლოგარიტმის ფუძე;

ε — ტალღის დამრეცობა, ტოლი $\frac{2h}{2L}$ -ის;

$$\varepsilon = \frac{1}{0,9 \sqrt{100 + \omega^2}}.$$

როცა სიღრმეები დაბალია, ე. ი. $\frac{H}{2L} < 0,5$, მაშინ ზემოაღნიშნულ

ფორმულებში უნდა შევიტანოთ შესწორების კოეფიციენტი. ასეთ შემთხვევაში

$$2h' = \beta(2h),$$

სადაც β შესწორების კოეფიციენტია, რომელიც სათანადო გრაფიკებით გამოითვლება.

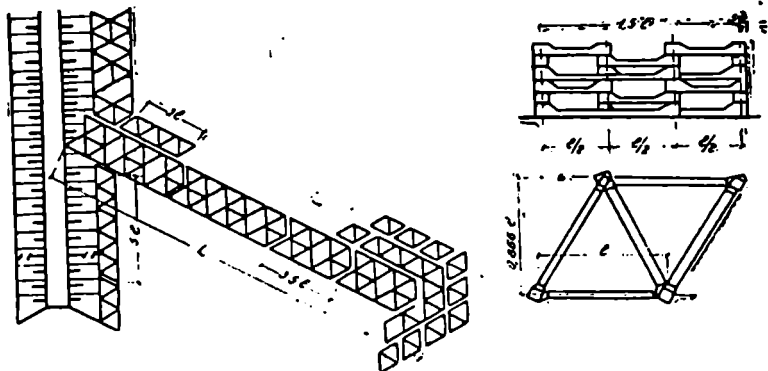
უქანასკნელ ხანებში ტალღის ელემენტების გამოსაანგარიშებლად იხმარება, ა. ბრასლაესკის მეთოდი, როგორც უფრო ზუსტი.

ფილების კონსტრუქცია სხვადასხვაგვარია: მთლიანი და ზვრეტებიანი. ეს უკანასკნელი ხელს უწყობს წნევიდან განტვირთვას. ფილები ეწყობა გადაუბმელად და ზოგჯერ კი ერთმანეთზე გადაბმულად სპეციალური ცალულებით.

ასაკრები რკინა-ბეტონის კონსტრუქციები

ინჟ. ი. ხერხეულიძის მიერ დამუშავებულია სარეგულაციო და ნაპირსაცავ ნაგებობათა ახალი ტიპი ტეტრაედრების და ასაკრებგისოსიანი რკინაბეტონის კონსტრუქციების სახით, რომლებიც საძირკვლის მოწყობას არ საჭიროებენ.

ასაკრები რკინა-ბეტონის ტეტრაედრული დამბები ნაპირების გარეცხვისაგან დასაცავად აგებული იყო მდ. მტკვარსა და მოქვაზე საქართველოში, აგრეთვე მდ. ჩირჩიკზე უზბეკისტანში. პრაქტიკამ ცხადყო მათი დამაკმაყოფილებელი მუშაობა, მაგრამ ელემენტების ფორმის სირთულე (რომლებიც ქარხნული წესით მზადდებოდა), კვანძების შეერთების უხერხულობა და სხვ. ამ კონსტრუქციის ნაკლს წარმოადგენდა. უფრო



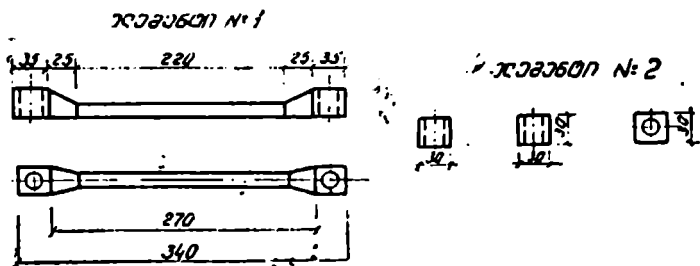
ნახ. 37. ასაკრებგისოსიანი კონსტრუქციის დამბა.

სრულყოფილ ტიპად უნდა ჩაითვალოს ასაკრებგისოსიანი რკინა-ბეტონის კონსტრუქცია, რომელშიც აცილებულია ტეტრაედრების ზემოაღნიშნული ნაკლი. ის წარმოადგენს სივრცით კარკასებს, რომლებიც ბეტონის ქარხანაში ან პოლიგონზე დამზადებული ორი რკინა-ბეტონის ელემენტისაგან შედგება (ნახ. 37).

ძირითადი ელემენტი № 1 წარმოადგენს რკინა-ბეტონის ზვრეტიან კუბურას. № 1 ელემენტის რკინა-ბეტონის მოცულობა შეადგენს 0,125 მ³,

№ 2-ის 0,02. № 1 ელემენტის წონა 320 კგ-ია; № 2-ის—50 კგ (ნახ. 38).

ამ ორი ელემენტისაგან შეიძლება შევქმნათ სასურველი სიმაღლის, სიგრძისა და მოხაზულობის ასაკრები სივრცითი კარკასები ცალკეული დეზების ან გრძივი სარტყელების სახით. ასაკრები ელემენტებისაგან შეიძლება აგრეთვე ბრტყელი მოქნილი ლეიბის მოწყობა მდინარეთა ნაპი-



ნახ. 38. ასაკრებგისოსიანი კონსტრუქციის ელემენტები.

რების გასამაგრებლად ან დამცველი დამბების ფუძის გარეცხვისაგან დასაცავად.

სივრცითი კარკასის კვანძების შეერთება წარმოებს ლითონის მილებით. ან ძველი რელსების სხვა სპეციალურად დამზადებული არმირებული ელემენტის ხვრეტში გაყრით. შემდეგ ეს ხვრეტები ამოივსება 250 მარკის ცემენტის ხსნარით ან პლასტიკური ბეტონით.

ასეთი დამცველი დეზების ექსპლოატაციის პრაქტიკამ მდ. მტკვარზე ქ. რუსთავთან გვიჩვენა მათი საესეებით დამაკმაყოფილებელი მუშაობა. ისინი მალე ივსება ნაგვით და ინტენსიურად ილექება, ბუნებშორის არეში სიჩქარეები მნიშვნელოვნად მცირდება და ხდება ნატანის დარიყვა. კონსტრუქციის ელემენტები განიცდიან სხვადასხვანაირ დაჯდომას, რომელიც თანდათან დიდდება სათავის მიმართულებით, მაგრამ სივრცითი კარკასის მთლიანობა არ ირღვევა.

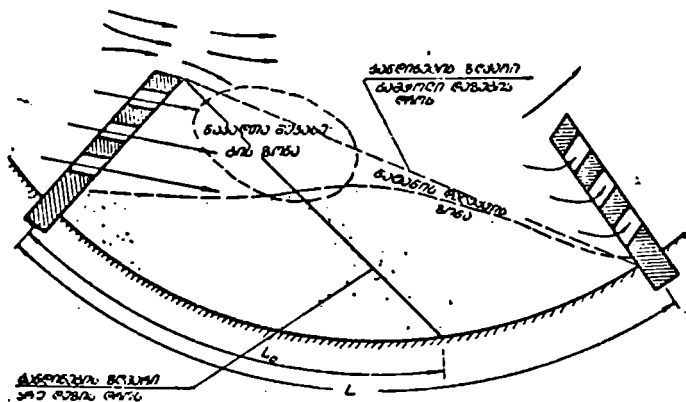
სომხეთის პიდროტექნიკისა და მელიორაციის სამეცნიერო-საკვლევ ინსტიტუტის მიერ დამუშავებულია გამჭოლი დეზების ტიპი პიდრაველიკური ბარიერით. დეზებში, რომლებიც გარკვეულ მანძილზეა დაშორებული ერთიმეორისაგან და მართობულადაა განლაგებული რეცხვადი ნაპირებისადმი, ტოვებენ გამჭოლ ხვრეტებს, რომლებიც $\alpha=30-40^\circ$ კუთხით მდებარეობენ დეზების ღერძის მიმართ. გამჭოლი ხვრეტების — გალერეების სიგანე რეკომენდებულია 1—2 მ, ისე რომ გალერეის სიგრძის შეფარდება მის მინიმალურ განივ ზომასთან 1-ზე მეტი იყოს. ნაკადი გამ-

პოლ დეზთან მისევისას იყოფა ორ ნაწილად: ერთი ნაწილი გადის გალერეების ხერხეტიში, მეორე კი შემოუვლის დეზის თავს და მიიმართება ნაპირისაკენ. ეს უკანასკნელი შეხვდება გალერეიდან გასულ ნაკადს, იცვლის თავის მიმართულებას და ნაპირზე მოქმედების ზონა გადაადგილდება ქვევით (ნახ. 39). ამის გამო მანძილი დეზებს შორის შეიძლება გავადიდოთ — ყრუ ან ჩვეულებრივ დეზებს შორის მანძილთან შედარებით. ნაკადთა შეჯახებისას ხდება მისი ენერჯის ეფექტური ჩაქრობა, წყდება ნაპირის გარეცხვა და წარმოებს დეზებს შორის არის ინტენსიური დაღეჭვა.

ლაბორატორიულ და ნატურულ გამოკვლევათა საფუძველზე ინსტიტუტის მიერ მოცემულია შემდეგი დასკვნები:

1. გამქოლი დეზების დამუშავებული ტიპი საშუალებას იძლევა აღვადგინოთ გარეცხილი ნაპირი თვითონ ნაკადის ენერჯის გამოყენების გზით.

2. დეზების კონსტრუქციის შედარებითი სიმსუბუქე შესაძლებელს ხდის მის გამოყენებას სუსტფუძიან (ქვიშოვანი გრუნტები) მდინარეებზე.



ნახ. 39. გამქოლი დეზების მოქმედება.

3. დეზებს შორის დიდი მანძილის გამო ნაპირის დაცვის სამუშაოთა ღირებულება შედარებით იაფია.

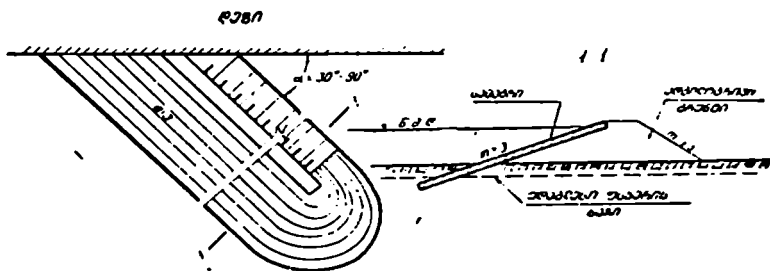
4. შესაძლებელია საწარმოო პროცესების მექანიზაცია და ინდუსტრიალიზაცია.

საქართველოს ჰიდროტექნიკისა და მელიორაციის სამეცნიერო-საკვლევო ინსტიტუტი სისტემატურად სწავლობს რაციონალურ მეთოდებს და ნაგებობათა კონსტრუქციებს მდინარეთა რეცხვადი ნაპირების დასა-

ცავად. საველე და ლაბორატორიულ გამოკვლევათა საფუძველზე გამონახულია სხვადასხვაგვარი, მეტად საინტერესო კონსტრუქციული გადაწყვეტა, მაგალითად, ინსტიტუტის მიერ დამუშავებული ნაპირსამაგრი მიმმართველი დეზის ახალი ტიპი. იგი წარმოადგენს გრძივ ფარდას, შედგენილს ბრტყელი ვერტიკალური ფარებისაგან, რომლებიც დაკიდებულია სანაპირო ხაზისადმი გარკვეული კუთხით განლაგებულ ხიმინჯების მწკრივზე. როგორც ლაბორატორიულმა ცდებმა და ნაწილობრივ საწარმოო გამოკვლევებმა გვიჩვენა, ეს სისტემა მნიშვნელოვნად ამცირებს ჩვეულებრივ დონისეულ გრძივ სიჩქარეებს ნაპირსა და სარტყელს შორის მდებარე ზონაში, რის გამო ხდება ამ არის დალექვა და, მაშასადამე, წყდება ნაპირის გარეცხვა.

მეორე სახის კონსტრუქცია წარმოდგენილია დეზებით ან გრძივი დამბებით, რომელთა ფუძეთან არ წარმოიშვება მდინარის კალაპოტის გარეცხვა. ლაბორატორიულმა ცდებმა გვიჩვენეს, რომ ნაგებობათა წნევიანი წახნაგის დახრილობით $m \geq 3$ შესაძლებელია ფუძის გამორეცხვის თავიდან აცილება. მაშასადამე, ნაგებობანი შეიძლება აიგოს ადგილობრივი გრუნტისაგან წნევიანი წახნაგის მსუბუქი მოპირკეთებით, საძირკვლის მინიმალური ჩაღრმავებით, რაც განაპირობებს მნიშვნელოვან ეკონომიურ ეფექტს (ნახ. 40).

ასეთი ტიპის ნაგებობები შენდება მდ. მტკვარზე გომი-ოსიაურის უბანზე და მდ. ფსოუზე გაგრის რაიონში. ექსპლუატაციის პერიოდში ჩა-



ნახ. 40. დეზი წნევიანი წახნაგის დახრილობით.

ტარებული დაკვირვება საშუალებას მოგვცემს გარკვეული დასკვნები გავაკეთოთ ამ ტიპის კონსტრუქციების შესახებ.

მდინარის რეგულირების ერთ-ერთ ხერხს კალაპოტის მარყუქების (მოხვეულობების) ხელოვნური გასწორხაზება წარმოადგენს.

მარყუქების ხელოვნური გასწორხაზება ცვლის მდინარის ბუნებრივ რეჟიმს როგორც ზემო, ისე ქვემო უბნებში. ვ. მაკავევი და ი. კონოვა-

ლოვი ადასტურებენ, რომ მოსახვევების წარმოშობა, რომლებიც იწვევენ ნაკადის სიგრძის გადიდებას და მისი ქანობის შემცირებას, ერთ-ერთ საშუალებას წარმოადგენს, რომლის მეშვეობით ვაკის მდინარეები ცდილობენ შესაბამისობა დაამყარონ ნაკადის მოქმედ ძალასა და კალაპორტის წინაღობას შორის. ამიტომ მოსახვევების ხელოვნური გასწორხაზება, ხშირ შემთხვევაში, ამ წონასწორობის დარღვევას იწვევს. იწყება ფსკერაზ გარეცხვა, ფერდობების დეფორმაცია და ხელახალი მოხვეულობების წარმოშობა. გასწორხაზებული ტრასის ფარგლებში წარმოიქმნება მეჩხეებისა (რიყეების) და ღრმა ნატბორების ახალი სისტემა, რომელიც იწყებს გადაადგილებას მდინარის გაყოლებით.

ფრანციუსიც აგრეთვე სთვლის, რომ ყოველი ცვლილება მდინარის რომელიმე ერთ უბანზე გავლენას ახდენს მდინარეზე როგორც ამ უბნის ზევით, ისე ქვევით დინების გაყოლებით. ასე რომ, ქანობის გადიდება გასწორხაზებულ უბანზე ყოველთვის იწვევს ქანობის შეცვლას ზევით, ხანდახან კი ამ უბნის ქვევითაც. ვინაიდან ქანობი გამასწორხაზებელი განათხარის სიგრძეზე უფრო მეტია, ვიდრე ამ უბნის ზევით და ქვევით, ნატანი სწრაფად გაივლის მდინარის ახალ უბანს და იწყებს დაგროვებას ქვედა ნაწილში.

ე. ვოდარსკის აზრით მნიშვნელოვანი რიყეების წარმოქმნა მდინარის ქვედა უბანზე გამოწვეულია შეტბორვით, რომელიც წარმოიშვება იმის გამო, რომ განათხარის ქანობი გაცილებით უფრო დიდია, ვიდრე ქანობები მის ზედა და ქვედა უბნებზე. ანალოგიურ აზრს გამოთქვამენ ა. კოსტიაკოვი, კანდიბა, პ. პერმიაკოვი და სხვ.

პორიზონტების დაწვევის შესაძლებელ სიდიდეზე ე. ვოდარსკი შემდეგ აზრს გამოთქვამს. მოსახვევი თავისი შენელებული დინებით, რომელიც გამოწვეულია სიგრძის მეტისმეტი გადიდებით და ამის გამო ქანობის შემცირებით, თავის დასაწყისში ჰქმნის ერთგვარ შენატბორს, რომელიც შეესაბამება სწორი (განათხარი) და მრუდი (მოსახვევი) უბნების დინებისადმი წინაღობათა სხვაობას. განათხარის მოწყობით აღნიშნული შენატბორი ქრება და წყლის ზედაპირი შეტბორვის გავრცელების მთელ მანძილზე დაბლა იწევს. როცა გარეცხვას ადგილი არა. აქვს, შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ განათხარის გავლენა ზემო უბანზე გამოიხატება დამატებითი წინაღობის მოსპობაში, რომელსაც დინება განიცდიდა მრუდხაზოვანი მოძრაობის დროს. მაგრამ ვინაიდან, ჩვეულებრივ, განათხარის შემთხვევაში ადგილი აქვს გარეცხვას და დარიყვას განათხარის ზედა და ქვედა უბნებზე, ზედაპირული ქანობი შეიძლება მკვეთრად განსხვავდებოდეს საანგარიშოსაგან. ზემოთქმულიდან აგრეთვე გამოდინარეობს, რომ რაც უფრო დიდია მდინარის ბუნებრივი ქანობები, დონის მით უფრო მეტ და-

წევას უნდა მოველოდეთ განათხარის ზევით და დიდი შენატბორების წარმოშობას განათხარის ქვევით.

ნ. პერმიაკოვის აზრით, რეცხვადი გრუნტების დროს, განათხარის მოწყობამდე მდინარის გრძივი პროფილი შეესაბამება დადგენილ წონასწორობას ნაკადის გამრეცხვ ძალასა და კალაპოტის წინალობას შორის. განათხარის მოწყობის შემდეგ მოხდება წყლის დონის დაწვევა, განათხარში ქანობისა და წყლის სიჩქარის გადიდების გამო. სიჩქარის გადიდების შედეგად ხდება გრუნტის გარეცხვა განათხარის ფსკერზე და მის (განათხარის) ზევით, მანამ, სანამ ხელახლა არ დამყარდება ნაკადის ძალასა და კალაპოტის გრუნტის წინალობას შორის წონასწორობა. ამასთანავე შეიქმნება მდინარის ახალი გრძივი პროფილი ქანობით, რომელიც რამდენადაც მეტი იქნება პირვანდელზე.

მდ. მისისიპის 660,9 კმ სიგრძის უბანზე ჩატარებულ იქნა მარყუქების გასწორება ლონისძიებები, რამაც გამოიწვია მისი სიგრძის 26%-ით შემცირება. დაკვირვებებით დადგენილ იქნა, რომ ამ ლონისძიების ჩატარებამ გამოიწვია წყალდიდობის პორიზონტების დაწვევა ზოგიერთ უბანზე 3 მეტრით. ამით დაცული იქნა მდინარის ნაპირები გადმოდენისაგან და სანაპირო ფართობები დატბორვისაგან.

ა. ბრუდასტოვი თვლის, რომ მდინარის გასწორებული ტრასა უნდა წარმოადგენდეს მდოვრე მოღუნულ ხაზს, ინტენსიური გარეცხვის თავიდან ასაცილებლად.

ე. ვოდარსკი აღნიშნავს, რომ განათხარის ტრასა უნდა ეთანხმებოდეს მდინარის მდებარეობის ტრასას. განათხარი მდოვრედ უნდა უერთდებოდეს მდინარის ზედა უბანს ისე, რომ წარმოადგენდეს მის ბუნებრივ გაგრძელებას. უმჯობესია განათხარის ტრასა გაეთდეს შეზნეკელი, ვინაიდან ასეთი მდებარეობა მეტად უზრუნველყოფს მასში სიღრმეების შენარჩუნებას.

ი. ფრანციუსი და ს. სირომიატნიკოვიც აგრეთვე აღნიშნავენ, რომ სწორხაზოვანი თხრილის გაყვანა სასურველი არ არის. ასეთივე მოსაზრებანი გამოთქვებს აგრეთვე სხვა ავტორებმა.

საინტერესო კვლევითი მუშაობა ჩატარა ამიერკავკასიის წყალთა მეურნეობის სამეცნიერო-საკვლევო ინსტიტუტის აზერბაიჯანის ფილიალმა 1942—1945 წწ. განმავლობაში თემაზე: „მდ. მტკვრის რეჟიმის რეგულირება როგორც წყალდიდობასთან ბრძოლის მეთოდი მის ქვემო წელში“. ამ მუშაობის ძირითადი შედეგები მოგვყავს ქვემოთ.

მდ. მტკვარს მინგეჩაური-შესართავის უბანზე, რომელსაც მტკვარი-არაქსის დაბლობს უწოდებენ, ტიპური ვაკის მდინარის ხასიათი აქვს. წყლის გამტარუნარიანობა ბუნებრივ ნაპირებში მდინარის ამ უბანზე გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე ხარჯები წყალდიდობის პერიოდში. ამიტომ

მდინარის ახლომდებარე უბნები წარმოადგენენ წყალსატევების სისტემას, რომლებიც წყლით ივსებიან წყალდიდობის დროს. ასეთ პირობებში კულტურული მიწათმოქმედება მეტად ძნელი და ზოგიერთ შემთხვევაში შეუძლებელიც იყო. მულანის, შირვანისა და მილის ველები, რომლებიც მებაზმეობისათვის ძვირფას მიწებს წარმოადგენენ, არასრულფასოვნად იყო გამოყენებული. ნათესების დაღუპვის გარდა, უარესდებოდა მიწების მელიორაციული მდგომარეობა (დაჭაობება, დამლაშება), ჩნდებოდა მაღარისა და სხვა ტროპიკულ დაავადებათა კერები. ამიტომ მდ. მდ. მტკვარსა და არაქსზე წყალდიდობასთან ბრძოლის ამოცანა ძველთაგანვე აკებოდა სპეციალისტების ყურადღებას. დაწყებული იყო ამ მდინარეთა ნაპირების შემოზღინვა მთელ სიგრძეზე. ძირითადად 1930—1940 წლების განმავლობაში მტკვრის 250 კმ-ის სიგრძეზე აგებული იყო 560 კმ სიგრძის ზეინულები, არაქსზე კი — 80 კმ.

ზეინულების შესაკეთებლად ყოველწლიურად სრულდებოდა 1,5 მლნ მ³ მოცულობის მიწის სამუშაოები, მაგრამ ეს ღონისძიებანი არ იძლეოდა სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების წალეკვისაგან დაცვის სრულ გარანტიას, ვინაიდან ხშირი იყო შემთხვევები, როდესაც წყალდიდობის ტალღა არღვევდა ზეინულებს და წყლით ფარავდა ძვირფასი ნათესების მნიშვნელოვან ფართობებს.

ვინაიდან მეანდრები თავის მხრივ აფერხებდნენ წყლის გატარებას წყალდიდობის დროს, დაისვა საკითხი მათი გასწორებასთვის შესახებ. ამ საკითხის დამუშავების დროს გამოყენებული იყო საზღვარგარეთული პრაქტიკის მასალები ამ დარგში, კერძოდ მდ. მისისიპის შემოზღინვისა ქვემო წელში (ამ მდინარის წყალდიდობის ხარჯი 200000 მ³ შეადგენს, მაშინ როდესაც მტკვრის ხარჯი მინგეჩაურთან 250 მ³/წმ უდრის).

მდინარის შემოზღინვის პროექტით გათვალისწინებული იყო სპეციალური წყალსაგდებების მოწყობა ბუნებრივ ტაფობებში, რის შედეგადაც ხდებოდა მდ. მისისიპის ძირითადი კალაპოტის განტვირთვა. დარჩენილ წყალს ატარებდა შემოზღინული კალაპოტი. როგორც ჩანს, პროექტის ავტორის (ინჟ. ჯეინი) იდეა იმაში მდგომარეობდა, რომ სტიქიური წალეკვა ზეინულების გარღვევის შედეგად შეცვლილიყო წყლის ორგანიზებული გადაგდებით წინასწარ მომზადებულ ადგილებში.

ამის შემდეგ გამოჩნდა ფერგიუსონის პროექტი, რომელიც მიღებულ იქნა 1932 წ. მდ. მისისიპზე წყალდიდობის გავლის პირობების შემდგომი გაუმჯობესებისათვის. ეს პროექტი დამყარებული იყო შემოზღინული მდინარის გამტარუნარიანობის გადიდებაზე მდინარის მოსახვევის — მეანდრების გასწორებასთან და მდინარის დონის დაწევის გზით.

მდინარის 12 მოსახვევის გასწორებასთვის შედეგად, რამაც მისი სიგრძე 185 კმ-ზე მეტით შეამოკლა, მნიშვნელოვნად გადიდდა კალაპოტის გამ-

ტარუნარიანობა, დაღრმავდა მდინარის ფსკერი და შესაბამისად დაიწია წყლის ჰორიზონტმაც. მაგალითად, 1933 წ-დან 1937 წლამდე, მიღწეუ- იქნა წყლის ჰორიზონტის დაწევა: არკანზასის პუნქტთან 3—4 მ-ით, ვიქს- ბურგთან—1—2 მ-ით. მდინარის 150000 მ³/წმ ხარჯის პერიოდში.

ჰორიზონტის დაწევამ და მასთან დაკავშირებულმა წნევის შემცირებამ ზეინულზე განაპირობა ის, რომ 1937 წლის განსაკუთრებით მძლავრი წყალდიდობის დროს არავითარ წალეკვას ადგილი არ ჰქონია მდ. მისისი- პის ქვემო წელში.

უნდა აღინიშნოს, რომ ფერგიუსონის პროექტი „ყელების“ — მარყუ- ეების ვათხრით მდინარის მოსახვევის გასწორხაზების გარდა ითვალისწი- ნებდა მრავალ სხვა სამუშაოს, რომლებიც საჭირო იყო მდინარის კალაპო- ტის სტაბილურობისა და სანაოსნო ფარვატერის შექმნისა და შენარჩუ- ნებისათვის. მრავალი ჰავლმომმართველი დამბა, განათხარი, ნაპირსამაგრი და სხვა ნაგებობა იყო აგებული ამ მიზნით და მათ ერთად სათანადო ეფექტი მოგვეცეს.

განათხარებთან დაკავშირებული ექსკავაციითა და ამოხაპვით შესრუ- ლებულ მიწის სამუშაოთა მოცულობა დაახლოებით 100 მლნ მ³-ს შეადგენდა.

გამოქვეყნებული ანგარიშებიდან ჩანს, რომ განათხარების მდგრადობა და მათი ეფექტიანობა ჰორიზონტების დაწევის მხრივ შენარჩუნებულ იქნა 12—16 წლის განმავლობაში;

ზემოაღნიშნულის გარდა შესწავლილ იქნა გამასწორებელი სამუშაო- ების მაგალითი მდ. რეინზე, რომლებიც ტარდებოდა რამდენიმე ათეული წლის განმავლობაში. მდინარის კალაპოტშივა რეიემის შეცვლის შედეგად, რაც ამ სამუშაოებმა გამოიწვია, დადგენილ იქნა კანონზომიერება მდინა- რის ფსკერის გრძივი ქანობის ფორმირებაში გასწორხაზებათა შემდეგ- აღმოჩნდა, რომ გასწორებული ადგილის ზევით განვითარდება ფსკერის ქანობის იგივე ხაზი, როგორც იყო თავდაპირველად, მაგრამ მდინარის ფსკერი დაიწევს ამ ვარდილის სიდიდეზე, რომელიც წარმოიშვა გასწო- რების შედეგად. ფსკერის ქანობის ეს ახალი ხაზი გავრცელდება განათხა- რიდან დინების ზევით არა ძველის პარალელურად, არამედ უფრო ციკა- ბო ხაზით, თანდათანობით, მკვეთრი გადაღუნვების გარეშე. ამასთან იზრდება კალაპოტის გამტარუნარიანობა და ვარდება წყლის ჰორიზონტი ორი ფაქტორის გავლენის გამო: ფსკერის დაღრმავებისა და საერთო გრძივი ქანობის გადიდების გამო, კალაპოტის სიგრძის შემცირებასთან დაკავშირებით.

მაგრამ, ორივე შემთხვევაში, როგორც მდ. მისისიპზე, ისე მდ. რეინზე საჭირო შეიქმნა დამატებითი სარეგულაციო ღონისძიებათა ჩატარება,

რომლებიც განამტკიცებდნენ მდინარის მდგომარეობას გეგმაში და მოს-
პობდნენ ახალი მეანდრების წარმოშობის მიზეზებს.

1942 წელს აზერბაიჯანის სსრ წყალთა მეურნეობის სამინისტრომ¹
პირველად გამოიყენა მარყუქების ხელოვნური გასწორების მეთოდი,
წყალდიდობის ჰორიზონტების დაწვევისა და ამით ზვინულების გარღვევის
თავიდან აცილების მიზნით.

1942—1944 წწ. განმავლობაში გაკეთდა ხუთი განათხარი პიონერული
თხრილების სახით, რომლებიც შემდეგ თვითონ მდინარეს უნდა გაერეცხა.
ამ განათხარებიდან ერთი სწრაფად დაილექა, დანარჩენი ორი გარეცხა
მდინარემ იმ ზომამდე, რომ მათ შეეძლოთ ძირითადად გაეტარებინათ
წყალდიდობის ხარჯი და მიღწეული იყო ჰორიზონტის დაწვევა. მაგრამ
შემჩნეულ იქნა ამ ღონისძიების მავნე გავლენა ქვემომდებარე უბანზე,
რაც გამოიხატა ერთის მხრივ ინტენსიურ გარეცხვაში, მეორეს მხრივ კი
ნატანის მნიშვნელოვან დარყვავაში იმის გამო, რომ თხრილები თითქმის
სწორი კუთხით უერთდებოდა ბუნებრივ (გაუმავრებელ) უბნებს.

ამასთან დაკავშირებით ამიერკავკასიის წყალთა მეურნეობის სამეცნი-
ერო-საკვლევო ინსტიტუტის აზერბაიჯანის ფილიალი 1944—1946 წწ. გან-
მავლობაში აწარმოებდა ამ საკითხის შესწავლასა და გამოკვლევას ს. სი-
რომიატნიკოვის ხელმძღვანელობით. ჩატარებული დაკვირვებებისა და გა-
მოკვლევების შედეგად მიღებული მასალების განზოგადების საფუძველზე,
ინსტიტუტმა შემდეგი დასკვნები გამოიტანა.

1. მდ. მტკვრის მდგრადობას ახასიათებს სანაპირო ხაზის ნელი გადა-
ადგილება, რომელიც რეცხვად უბნებზე წელიწადში საშუალოდ 5 მეტრს
აღწევს. ჩქერები და ნატბორები ინარჩუნებენ თავიანთ ადგილებს მდინა-
რის ერთსა და იმავე პუნქტებში 15 წელზე მეტ ხანს. ლოხტინის მიხედ-
ვით მდგრადობის კოეფიციენტი მდინარის ქვემო ნაწილისათვის უდრის
3,10-ს. ამ ნიშნების ერთობლიობა ნებას გვაძლევს მივაკუთვნოთ მდ.
მტკვრის ქვემო ნაწილი მ. ველიკანოვის კლასიფიკაციის მეორე და მესამე
კატეგორიების შუალედურ კატეგორიებს.

2. 1942 წელს განხორციელებული მდ. მტკვრის მარყუქების განათხა-
რები 1—1,5 წლის განმავლობაში იმ ზომამდე დამუშავდა, რომ მთლიანად
ატარებდა მდინარის ხარჯს. მაგრამ განივევებების ფორმირება გრძელდე-
ბოდა შემდეგაც და მხოლოდ 1946 წელს მიიღო განათხარის განივევ-
ებებმა ისეთი ნიშნები, რომლებიც შეესაბამებოდნენ მდინარის ბუნებრივ
(გაუმავრებელ) უბნებს. თავდაპირველად სწორხაზოვანი განათხარები
მდინარის ზემო უბანთან დიდი კუთხით შეერთების შედეგად და ამასთან
დაკავშირებით განივი ცირკულაციის გაძლიერების გამო გამრუდდა და
გადაიქცა მცირე სიმრუდის მქონე უბნებად, რასაც იგი შემდგომ პერიოდ-
ში ინარჩუნებს.

განათხარის ზეგავლენის შედეგად მდინარის ზემო უბნის ფსკერის გარეცხვის ტემპების მოსალოდნელი გაძლიერება და მდინარისა და განათხარის ქანობების გათანაბრება განათხარის 5 წლის მოქმედების განმავლობაში პრაქტიკულად შესამჩნევი არ არის. მდ. მტკვრის კალაპოტის საკმაოდ დიდი მდგრადობის გამო მოსალოდნელია, რომ განათხარი, როგორც გადიდებულქანობიანი უბანი, მტკიცედ იქნება შენარჩუნებული რამდენიმე ათეული წლის განმავლობაში.

3. განივკვეთების კონფიგურაცია განათხარებში და სიჩქარეთა განაწილება განივკვეთში აგრეთვე მოწმობენ, რომ განათხარები შეესაბამება მდინარის მცირე სიმრუდის მქონე უბნებს. სიჩქარეთა განაწილება განივკვეთში ლოსიევსკის კლასიფიკაციის III ტიპის დინებას შეესაბამება.

4. ხაოიანობის კოეფიციენტები განათხარში, გამოთვლილი განკუთვნილი-კუთხრის ფორმულის მიხედვით, სავსებით შეესაბამება იმ სიდიდეებს, რომლებიც დამახასიათებელია მტკვრის მსგავსი მდინარეებისათვის (მტკვრის ქვემო წელში). ხაოიანობის კოეფიციენტების გამოთვლამ მანინგისა და ფორხგეიმერის ფორმულებით ანალოგიური შედეგები მოგვცა. უპირატესობა უნდა მიენიჭოს მათგან უფრო მარტივ, საჩვენებელ ფორმულებს, კერძოდ ფორხგეიმერის ფორმულას.

5. მდინარის მარყუქების გასწორხაზების განვითარების პროცესში შეიმჩნევა ორი პერიოდი: პირველი — პიონერული თხრილის გაყვანის მომენტიდან მდინარის მთელი ხარჯის გაშვებამდე; მტკვრის პირობებისათვის იგი გრძელდებოდა 1—1,5 წელი; მეორე — განათხარის მტკიცე არსებობის პერიოდი — შეიძლება გაგრძელდეს რამდენიმე ათეული წელი. განათხარის მოქმედების ეფექტიანობა ჰორიზონტების დაწვევის თვალსაზრისით სწორი არ იქნება მივაკუთვნოთ პირველ პერიოდს, ის უნდა მივაკუთვნოს განათხარის მოქმედების მეორე პერიოდს.

მრავალი წლის დაკვირვებებმა ცხადჰყვეს, რომ განათხარის ტრასა უნდა წარმოადგენდეს მრუდს. ამით უზრუნველყოფილი იქნება მისი მდინარის ბუნებრივ კალაპოტთან ისეთი შეერთება, რომლის დროს ადგილი არ ექნება ნაკადის ცალმხრივ შევიწროებას. წინააღმდეგ შემთხვევაში განვითარდება წყლის ტურბულენტური მოძრაობის პროცესი, ნაპირის გარეცხვა და ახალი მეანდრების წარმოშობა.

6. ჰორიზონტის დაწვევა განათხარის საწყის კვეთში გამოიწვევს ჰორიზონტების დაწვევას მდინარის ზემო უბანზე, ვარდნის მრუდის გავრცელების სიგრძეზე. თუ ვარდნის მრუდის ზონაში მეორე განათხარია მოთავსებული, მისი ეფექტიანობა ჰორიზონტების დაწვევის მხრივ შესაბამისად გაიზარდება, ზემომდებარე განათხარში შეტბორვის შემცირების გამო.

მდ. მისისიპის მონაცემების დამუშავების შედეგად შემდეგი დამოკიდებულება იქნა მიღებული მარყუქსა და განათხარს შორის:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \alpha \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^n \quad (29)$$

სადაც Q_1 ხარჯია მარყუქში;

Q_2 — ხარჯი განათხარში;

α — კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს მორფომეტრიული ნიშნების შეფარდებას;

n — ხარისხის მაჩვენებელი, რომლის მნიშვნელობა უახლოვდება 0,5.

აღნიშნული დამოკიდებულება უსაზღვრო არ არის და როდესაც სიგრძეების შეფარდება $1/7$ — $1/8$ შეადგენს, როგორც მდ. მისისიპისა და მდ. მტკვრის განათხარების ანალიზმა გვიჩვენა, განათხარის ხარჯი უდრის მდინარის ხარჯს. კოეფიციენტი α , როგორც ჩანს, ცვლადი სიდიდე უნდა იყოს, რომელიც დამოკიდებულია განივკვეთების ელემენტებისაგან. ეს კოეფიციენტი მოითხოვს შესწავლასა და დაზუსტებას.

ინსტიტუტის დასკვნებმა მდ. მტკვრის რეგულირების შესახებ შეანღრების გასწორების გზით გვიჩვენა, რომ მდინარის მარყუქების გასწორებით იქმნება კალაპოტის ახალი ფორმა, რომელიც ცვლის ნაკადის სტრუქტურას. ნაკადი თავის მხრივ შედის ურთიერთქმედებაში კალაპოტის ახალ ფორმასთან და შედარებით მდგრად მდინარეებში მყარდება დინამიკური წონასწორობა. ამრიგად, მარყუქის გასწორება შეიძლება იყოს ხანგრძლივად მყარი მხოლოდ ისეთ მდინარეში, რომელსაც საკმაოდ მდგრადობა აქვს. არამდგრად მდინარეებში, რომელთა კალაპოტი მუდმივ ცვლილებებს განიცდის, განათხარი ადილებს რა ქანობა, თვითონ აღმოჩნდება მეტისმეტი უმდგრადობის პირობებში.

უკანასკნელ პერიოდში გასწორხაზებული უბნების მუშაობაზე დაკვირვებათა წარმოება შეუძლებელი გახდა მინგეჩაურის დიდი წყალსაცავის შექმნის გამო, რამაც მდ. მტკვრის რეგულირების საკითხი ამ ვაკე უბანზე საბოლოოდ გადაწყვიტა.

უნდა აღინიშნოს, რომ მდინარეზე წყალსაცავის შექმნით, რომლის საშუალებით შესაძლებელი იქნება ჩამონადენის წლიური რეგულირება, საჭირო აღარ არის ნაპირსაცავ ღონისძიებათა გატარება. წყალსაცავიდან განსაზღვრული ხარჯების გაშვებას არ შეუძლია გამოიწვიოს ნაპირების მნიშვნელოვანი დეფორმაციები და მდინარის კალაპოტის გეგმითი მოხაზულობის შეცვლა. მაგალითად, მდ. იორი თავის შუა და ქვემოწელში, წყალდიდობის გავლის დროს ძლიერ ურეცხავს ნაპირებს ნაკადის მოქმე-

დებით. ამიტომ ცალკეულ, მეტად სახიფათო ადგილებში სისტემატურად ტარდება ნაპირსაცავი ღონისძიებანი, როგორც კაპიტალური, ისე დროებითი სახის.

ამჟამად მდ. იორზე შენდება სიონის წყალსაცავი მდინარის წლიური ჩამონადენის რეგულირებისათვის სამგორის სარწყავი სისტემის წყლით უზრუნველყოფის მიზნით. აღნიშნული წყალსაცავის ექსპლოატაციაში შეყვანის შემდეგ საჭირო აღარ იქნება სარეგულაციო სამუშაოები მდინარის ქვემოთდენარე უბნებზე.

მაგრამ წყალსაცავის შექმნა ყველა მდინარეზე არ შეიძლება რთული გეოლოგიური და ტოპოგრაფიული პირობების გამო. გარდა ამისა, ეს დაკავშირებულია საგრძნობი სახსრების გაღებასთან, რაც შეიძლება გამართლებულ იქნეს ირიგაციის, ენერგეტიკისა და ნაპირის გამაგრების საკითხების კომპლექსურად გადაჭრის შემთხვევაში.

VI. სელურ ნაკადებთან ბრძოლა

დასახლებული პუნქტების, სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებისა და ახვა ობიექტების დაცვა სელური ნაკადების გამანადგურებელი მოქმედებისაგან მეტად რთულ საკითხს წარმოადგენს. ღონისძიებანი ნარიყის კონუსზე საფარი დამბების მოწყობის სახით რადიკალური არ არის, ვინაიდან სელის მოქმედების შედეგად მდინარის კალაპოტი ინტენსიურად ირიყება, თანდათან მალდება და აღნიშნული ნაგებობანი ნალექებით იფარება. დამბების სიმაღლის გაზრდა დროებით ეფექტს იძლევა და, გარდა ამისა, აღიდებს საფრთხეს ნაგებობის გარღვევის შემთხვევაში. როგორც გამოკვლევებმა გვიჩვენეს, დასაცავი ობიექტების უშიშროებისათვის საჭიროა დამბების თავისუფალი სიმაღლე შენარჩუნებულ იქნეს არა უმცირეს 4—5 მ-ისა და სელური ნაკადის მოძრაობის მიმართულება ნაგებობასთან ჰქმნიდეს 25°-იან და ნაკლებ კუთხეს. როდესაც სელი ნაგებობას მეტი კუთხით ეხეთქება, 4—5 მ-იანი სიმაღლე მისთვის დაბრკოლებას არ წარმოადგენს. დამბის წინ იწყება სელური მასის ინტენსიური დარიყვა, შემდეგ სელის ზევიდან გადასვლა და ამის შედეგად როგორც თვითონ დამბის, ისე დასაცავი ობიექტების დანგრევა.

პრაქტიკულად ზემოაღნიშნული პირობების დაცვა, მეტად ძნელია.

მაგალითისათვის შეიძლება მოვიყვანოთ ის ღონისძიებანი, რომლებიც ჩატარებულია რაიონული ცენტრის ყვარელის დასაცავად მდ. ღურუჯის სელური ნაკადისაგან.

41-ე ნახ-ზე ნაჩვენებია მდინარე ღურუჯის კალაპოტი სოფ. ყვარლიზ ზემო ნაწილში.

როგორც ზემოთ აღნიშნეთ, მდ. ღურუჯის სელურ ნაკადებს არაერ-

თხელ მიუყენებია ზიანი მოსახლეობისათვის. ამის გამო, საქართველოს გამოჩენილი მოღვაწის ილია ჭავჭავაძის ინიციატივით ჯერ კიდევ 1906 წელს აიგო რამდენიმე დამბა მდინარის ხეობიდან გამოსასვლელთან. დროთა განმავლობაში აღნიშნული დამბები დაილექა.

1947—1948 წწ. მდინარის მარცხენა ნაპირზე აგებულ იქნა დაახლოებით 5 კმ სიგრძის 5 მ საშუალო სიმაღლის ქვის კედლის სარტყელი.



ნახ. 41. მდინარე ღურუჯის კალაპოტი.

აღნიშნულმა შემოსარტყელამ თავის მუშაობის პერიოდში გაამართლა თავისი ღანიშნულება, მაგრამ შემდგომში მდინარის კალაპოტი თანდათანობით აიწია და კედელი დაილექა გამონატანით, რის გამო ზოგიერთ უბანზე საჭირო შეიქნა დამბის წაზრდა-ამაღლება. აღნიშნულ გარემოებათა გამო ამჟამად ტარდება კალაპოტის გაწმენდის ღონისძიებანი. გარდა ამისა აშენდა დამატებითი დამცველი კედელი ზედა, უფრო მეტად საშიშ უბანზე. გაწმენდის შედეგად ამოღებული გრუნტი იყრება კედლის უკან წასიური ბარიერის (ზღუდის) შექმნის მიზნით. როგორც პრაქტიკამ გვიჩვენა, აღნიშნული ღონისძიებანიც საბოლოო არ არის, თუ არ მოეწყო კალაპოტის სისტემატური წმენდა მდინარის მიერ ყოველწლიურად მოტანილი ნარიყიანაგან.

42-ე ნახ-ზე ნაჩვენებია ღურუჯის კალაპოტი 1961 წ. სექტემბრის თვეში გავლილი სელის შემდეგ.

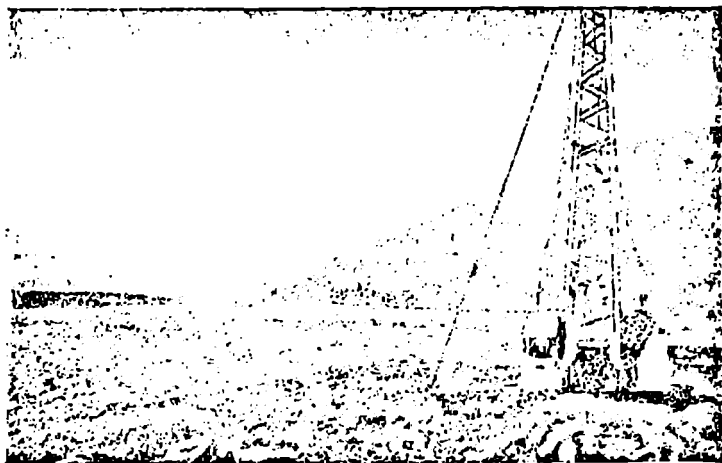
საერთის ყველაზე რადიკალური გადაჭრა მდგომარეობს იმაში, რომ არ დაეუშვათ სელური ნაკადი დასაცავ უბანამდე. ამის მიღწევა შეიძლება:

1. აუზში კომპლექსურ ჰიდროტექნიკურ და ფიტომელიორაციულ

ღონისძიებათა ჩატარების გზით სელის წარმომქმნელი კერების ლიკვიდაციისათვის;

2. სპეციალური ქვაბულების მოწყობით ნარიყის კონუსის უბანზე სელური ნარიყის აკუმულაციისათვის (დაგროვებისათვის);

3. ბრძოლის ახალი ჰიდრაულიკური ხერხის გამოყენებით, რომელიც



ნახ. 42 მდ. ღურუჯის კალაპოტი სელური ნაკადის გავლის შემდეგ.

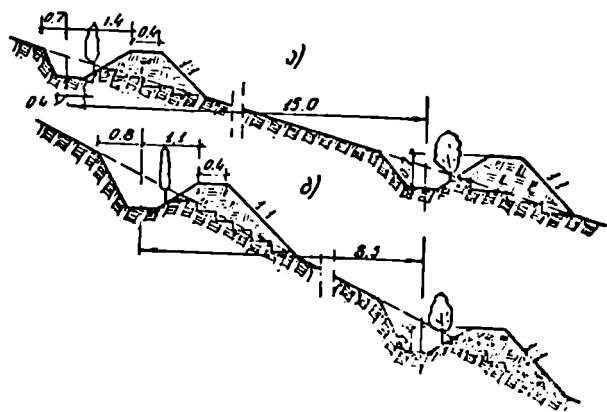
შეიცავს ღონისძიებებს სელური ნაკადის ჩვეულებრივ წყალდიდობად გარდაქმნისათვის.

პირველი ხერხი ცოტად თუ ბევრად ცნობილია და მიმართულია სელების წარმომქმნელი მიზეზების აღსაკვეთად. ამისათვის ტარდება აგროსატყეო კულტურული და ტექნიკური ღონისძიებანი. აგროსატყეო კულტურულ ღონისძიებებს ეკუთვნის: არსებული მცენარეული საფარის დაცვა განადგურებისაგან, გაშიშვლებული ფერდობების გატყიანება და მათი გამაგრება ჩამორეცხვის საწინააღმდეგოდ.

ტექნიკური ღონისძიებანი ითვალისწინებენ ფერდობების ტერასირებას, ჰორიზონტალური შემკრები თხრილების, წყალსარინი სისტემებისა და სხვ. მოწყობას, რაც ხელს შეუწყობს ზედაპირული ჩამონადენების შენელებას და ინტენსიური გარეცხვის თავიდან აცილებას (ნახ. 43).

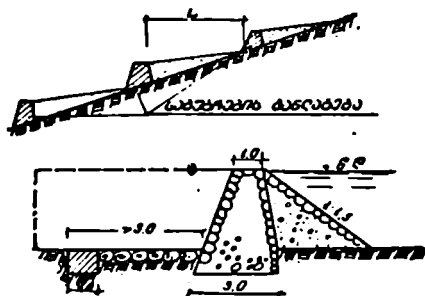
კალაპოტის გრძივი ქანობის შესამციკრებლად და მსხვილი ნატანის შეხაჩერებლად კალაპოტის გარდიგარდმო ეწყობა საგუბრები წნული ღობეების, ქვა-ფიჩხოვანი ან ქვის კედლების სახით (ნახ. 44).

შემდეგი ტექნიკური ღონისძიება ნატანის შეჩერება მდინარის კალაპოტში ნარიყის კონუსის ზევით. ამისათვის საჭიროა მდინარის კალაპოტში მოიძებნოს შესაბამისი უბანი, სადაც კაშხლის აგებით ხეობაში შეიქმნება ნატანსაცავი; ამ ნატანსაცავის მოცულობა არ უნდა იყოს იმ მყარი ჩამონა-



ნახ. 43. ზედაპირული წყლის შემკრები არხები.
ა) 15° კანობის დროს; ბ) 25° კანობის დროს.

ღენის შესაძლებელ მოცულობაზე ნაკლები, რომელიც მოაქვს მდინარეს ერთი დიდი სელის გავლის დროს წყალსაცავის ზემოთ მდებარე აუზიდან.



ნახ. 44. ნატანსაცავები მდინარეზე.

პირველი ხერხის სიძნელეს წარმოადგენს სამუშაოთა გაფანტულობა აუზის მნიშვნელოვან წყალშემკრებ ფართობზე, სამუშაოთა ორგანიზაციისა და წარმოების სირთულე უგზოობის პირობებში.

მეორე ხერხი ითვალისწინებს სპეციალური ქვაბულის მოწყობას ნარიყის კონუსის დასაწყისში. ნორმალური მუშაობისათვის საჭირო იქნება ქვაბულის სისტემატური გაწმენდა ნარიყისაგან ან ახალი ქვაბულის გაკეთება. ასეთი ღონისძიება იყო ჩატარებული აღმა-ატის სელური ნაკადებისაგან დასაცავად.

მესამე ხერხი—სელურ ნაკადებთან ბრძოლის ჰიდრაულიკური მეთოდი წამოყენებული იყო მ. გაგოშიძის მიერ, სელურ ნაკადზე ადგილზე მრავალწლიანი დაკვირვებებისა და აგრეთვე სელური მასის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ლაბორატორიული შესწავლის საფუძველზე. ეს მეთოდი მდგომარეობს შემდეგში: როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, სელური ქვატალახიანი ნაკადი ხასიათდება ქვის ნატანის, წვრილმარცვლოვანი ფრაქციებისა და წყლის გარკვეული რაოდენობრივი თანაფარდობით. წყლოვანი ფაქტორის გადიდებისას სელური ნაკადი შეიძლება გადავაქციოთ სელურ წყალდიდობად, რომლის დროს საერთო მასას ჩანართები ჩამოსცილდება და სელი შეწყვეტს დამოუკიდებელ მოძრაობას.

სელური ნაკადების გათხევადების ბუნებრივ პროცესს ადგილი აქვს ბუნებაში. ამით აიხსნება ის გარემოება, რომ სელიანი აუზების მქონე ყველა მდინარეში არ წარმოიშვება სელური ნაკადები. ამის დასამტკიცებლად მ. გაგოშიძე განიხილავს მდ. მდ. ღურუჯისა და ჩელტის რეჟიმს, რომელთა აუზები განლაგებულია კავკასიონის მთავარი ქედის სამხრეთ კალთაზე. ორივე აუზში არის სელის წარმომქმნელი კერები, მაგრამ არასოდეს არ ყოფილა შემთხვევა ჩელტის აუზიდან. ნარიყის კონუსზე ქვატალახიანი ნაკადების გამოტანისა, მდ. ღურუჯზე კი ადგილი აქვს ასეთ მოვლენებს. ამ მდგომარეობას მ. გაგოშიძე იმით ხსნის, რომ მდ. ჩელტას აქვს რამდენიმე მნიშვნელოვანი არასელური ხასიათის შენაკადი, რომლებიც ათხევადებენ სელის წარმომქმნელი კერებიდან მომავალ სელურ ნაკადებს და ამის შედეგად ნარიყის კონუსზე სელური ნაკადი მოედინება წყალდიდობის სახით, მდ. ღურუჯის ერთადერთ შენაკადს კი ამის გაკეთება არ შეუძლია.

ჰიდრაულიკური ხერხი დამყარებულია სელური ნაკადის ხელოვნურად გათხევადების პრინციპზე. ამ მიზნით აგებენ საჭირო ტევადობის წყალსაცავს მდინარის არასელურ შენაკადზე. კალაპოტში ეწყობა სპეციალური ბეტონის მოედანი სელური ნაკადის ხელოვნური გათხევადებისათვის. წყალი წყალსაცავიდან სპეციალური გამანაწილებელი მილებით 10—20 მ/წმ სიჩქარით მიდის მოედნის წყალსატყორცებში. შეჯამებული ხარჯი ყველა წყალსატყორცში უნდა იყოს სელის მაქსიმალური ხარჯის მოცულობის არა უმცირეს 10—15%-ისა. წყლის მიწოდება წყალსაცავიდან წარმოებს ავტომატურად, გათხევადების მოედანზე სელის გავლის დროს. ამ სქემის მიხედვით საქართველოს სსრ წყალთა მეურნეობის საქსახინ-

წყალპროექტის მიერ შედგენილია მდ. ღურუჯის სელური ნაკადებისაგან სოფ. ყვარლის დაცვის პროექტი, რომლის განხორციელება საშუალებას მოგვცემს დაკვირვება ვაწარმოოთ ადგილზე და გავაკეთოთ სათანადო დასკვნები.

VII. ზოგირითი თეორიული და ექსპერიმენტული მონაცემები კალაპოტის ფორმირებისა და ადგილობრივი გარეცხვის შესახებ

1. მდინარის ნაკადისა და კალაპოტშია პროცესების დამახასიათებელი თავისებურებანი

კალაპოტშია პროცესის ძირითად მახასიათებელს წარმოადგენს მდინარის ნაკადისა და კალაპოტის უწყვეტი ურთიერთქმედება.

ნაკადის ტურბულენტური ხასიათის გამო კალაპოტში წარმოიშვება ცვალებადი სიჩქარეები; ამასთან დაკავშირებით ხდება დანალექი შრის ნაწილაკების უთანაბრო გადაადგილება კალაპოტში და, როგორც შედეგი, ფსკერის მაღალი და დაბალი ნიშნულების მონაცვლეობა. შემდეგში კალაპოტის კვეთის უთანაბრო ცვლილება თავის მხრივ მოქმედებს ნაკადის სიჩქარეების ხელახალ ფორმირებაზე და ა. შ.

მაშასადამე, ერთის მხრივ ნაკადის შემომსაზღვრელი მყარი ზედაპირი მიმართულებას აძლევს სითხის ნაწილაკებს, მეორეს მხრივ კი კალაპოტის მყარი ნაწილაკები მოძრავი თხიერა ნაწილაკების ზეგავლენის გამო თვითონ იწყებენ მოძრაობას. კალაპოტის ზედაპირის ამ მყარი ნაწილაკების მოძრაობა და გადაადგილება წარმოებს მანამ, სანამ არ დამყარდება დროებითი წონასწორობის მდგომარეობა, ე. ი. როდესაც თხიერი ნაწილაკების ზემოქმედება მყარ ნაწილაკებზე დროებით წყდება ან მცირდება.

ყველა ბუნებრივი კალაპოტშია ნაკადის ეს სპეციფიკური თავისებურება წარმოადგენს ორი ურთიერთმოქმედი ფაქტორის — ნაკადისა და კალაპოტის დიალექტიკურ ერთიანობას.

სულ სხვა დამოკიდებულებაა, როდესაც ნაკადის მოძრაობა განიხილება მილებში, არხებში და სხვ. ასეთ შემთხვევაში ნაკადის ფორმა მოცემულია, ის უცვლელია და საჭირო ხდება იმ სიჩქარეთა ველის განსაზღვრა, რომელიც გაპარობებულია ღარის, არხის, მილისა და სხვ. უცვლელი ფარგლებით. აქ ნაკადი მთლიანად ემორჩილება არხის მოცემულ ფორმას, რეცხვად კალაპოტში კი ასეთ „უდავო დამორჩილებას“ ადგილი არა აქვს.

ნაკადისა და რეცხვადი ნაპირის ურთიერთქმედების პრინციპს მტკიცედ მივუყვართ კალაპოტის მდგრადობის პრობლემისაკენ, რომელიც წამოაყენა ვ. ლოხტინმა.

ვინაიდან მყარი ნაწილაკების გადატანის პროცესი მით უფრო ინტენ-

სიურია, რაც უფრო მეტია ნაკადის სიჩქარე, უდიდეს სიჩქარეს მდინარე-ში კი ადგილი აქვს წყალდიდობის დროს, აშკარაა, რომ კალაპოტის ფორ-მირებაში წყალდიდობის პერიოდს მეტი მნიშვნელობა აქვს, ვიდრე ჩვეუ-ლებრივს. მაგრამ თვით სიჩქარე დამოკიდებულია მდინარის ქანობზე. მა-შასადავს, დიდქანობიანი მდინარეები, სხვა თანაბარ პირობებში, უფრო ინტენსიურ დეფორმაციას უნდა განიცდიდნენ, ვიდრე მცირე ქანობის მქონე მდინარეები. ამასთან ერთად დეფორმაციის ინტენსიურობა დამო-კიდებულია კალაპოტის გრუნტის ნაწილაკების სიდიდეზეც: რაც უფრო მსხვილია ეს ნაწილაკები, მით უფრო მეტ წინაღობას უწევენ ისინი დე-ფორმაციას. ამრიგად, ციცაბოქანობიანი, მაგრამ მსხვილი ნაწილაკების მქონე მდინარეები კალაპოტის მდგრადობის მხრივ შეიძლება გაუტოლდეს შედარებით მცირე ქანობისა და წვრილი ნაწილაკების მქონე მდინარეებს. აქედან გამომდინარე ლოხტინმა მდინარის მდგრადობის განსა-ზღვრას საფუძვლად დაუდო შემდეგი მოსარჩებანი.

მდინარის კალაპოტის მდგრადობა დამოკიდებულია იმაზე, თუ რო-გორია ფსკერის შემცველი გრუნტის ნაწილაკების წინააღმდეგობის ძალა ნაკადის წამტაცი ძალის მიმართ.

გრუნტის ნაწილაკის წინაღობის ძალა შეიძლება მივიღოთ დაახლოე-ბით მისი წონის პროპორციული, ე. ი. d^3 -ის ტოლი (d — ნაწილაკის სა-შუალო დიამეტრია), ნაკადის წამტაცი ძალა კი ამ ნაწილაკზე ჰიდროდინა-მიკური წნევის ტოლია, რომლის მნიშვნელობა გამოისახება $v^2 d^2$ სიდი-დით. ვინაიდან v^2 თავის მხრივ მდინარის ქანობის პროპორციულია, ამიტომ გრუნტის ნაწილაკზე წნევა შეიძლება გამოვსახოთ $d^2 I$ სიდიდით. აქედან გამომდინარე ვ. ლოხტინმა მდინარის განმსაზღვრელ კრიტერიუმად მიიღო შემდეგი შეფარდება [1]:

$$f = \frac{d^3}{d^2 I} = \frac{d}{I}, \quad (29a).$$

სადაც d ნაწილაკის საშუალო დიამეტრია, მმ-ში;

I — მდინარის ვარდნა 1 კმ-ზე, მ-ში.

ამ კრიტერიუმის გამოყენებამ მდ. მდ. ენისეისა და ვოლგისათვის ასე-თი შედეგი მოგვცა: მდ. ენისეის საშუალო ქანობი ორჯერ მეტია, ვიდ-რე მდ. ვოლგის, მაგრამ მდ. ენისეის კალაპოტი შედგება 2—3 სმ და მეტი დიამეტრის მქონე კენჭებიდან, მდ. ვოლგის კალაპოტი კი 1—2 მმ დიამეტრიანი ქვიშისაგან. ამიტომ ენისეის კალაპოტი 7—10-ჯერ უფრო მდგრადია, ვიდრე მდ. ვოლგის. თუ მდინარე ვოლგას შევადარებთ მდ. ვისლას, რომლის ქანობი მეტია, ვიდრე მდ. ვოლგის, ხოლო ნაწილაკებ ის ზომა კი ისეთივეა, მდ. ვოლგა უფრო მდგრადია, ვიდრე მდ. ვისლა.

ინე. ლოხტინმა კოეფიციენტების მნიშვნელობებიდან გამომდინარე მოგვცა მდინარეთა შემდეგი კლასიფიკაცია მდგრადობის თვალსაზრისით

I ტიპი — ყველაზე სუსტი მდგრადობის მხრივ

სირ-ღარია $f=2-2,5$;

ამუ-ღარია $f=0,1$.

II ტიპი — უფრო მდგრადი

ვოლგა შუა წელში $f=12$;

ღონი ქვედა წელში $f=5-6$.

III ტიპი — მდგრადი

დნესტრი სოროკთან $f=80$;

დას. დვინა ვიტებსკთან $f=50$;

დას. დვინა დვინსკთან $f=30$.

ამ მონაცემებიდან ჩანს, რომ რაც უფრო მსხვილია მდინარის კალაპოტის ნაწილაკები, მით უფრო მეტია მდგრადობის კოეფიციენტი და მდინარის წინააღმდეგობის გაწევის უნარი ყოველგვარი დეფორმაციისადმი. ასევე რაც უფრო მცირეა მდინარის ვარდნა, მით უფრო ნაკლებმოდრავია მდინარის კალაპოტი.

მდინარეებში, სადაც მდგრადობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა 15—20-ის ტოლია, ნატანის მოძრაობას პერიოდული ხასიათი აქვს. ნატანის გადატანა მხოლოდ წყალდიდობის პერიოდში ხდება, საშუალო ხარჯების დროს კი ნატანის მოძრაობას თითქმის ადგილი არა აქვს. იმ შემთხვევაში, როდესაც მდგრადობის კოეფიციენტი 5-ზე ნაკლებია, კალაპოტში ნატანის მუდმივი გადაადგილება წარმოებს მთელი წლის განმავლობაში. რასაკვირველია, საშუალო ხარჯების დროს ნატანის მოძრაობა მნიშვნელოვნად ნელდება.

უნდა აღინიშნოს, რომ ინე. ლოხტინისა და სხვათა (ლეღიავსკის, მაქსიმოვის და სხვ.) გამოკვლევები მეტად ღირსშესანიშნავია იმ პერიოდისათვის, როდესაც თეორიული ჰიდროდინამიკა განყენებულ მეცნიერებას წარმოადგენდა, ჰიდროტექნიკური-ექსპერიმენტი სრულიად არ არსებობდა, ტურბულენტობის თეორია კი ჩასახვის პერიოდში იყო.

ჰიდროტექნიკის განვითარების თანამედროვე ეტაპზე საჭირო შეიქნა ლოხტინის მდგრადობის კოეფიციენტის ერთგვარი გარდაქმნა. საქმე ის არის, რომ ნაკადის მამოძრავებელი ძალა გაპირობებულია არა მარტო ქანობით, არამედ ორი ფაქტორის: ქანობისა და სიღრმის ერთობლიობით. სხვანაირად რომ ვთქვათ, ნაკადის სიჩქარე ამ ორი სიდიდის ნამრავლის კვადრატული ფესვის პროპორციულია. ამიტომ სიღრმის ფაქტორის უგულებელყოფა სწორი არ იქნებოდა.

მეორე მხრივ, ეს კოეფიციენტი გარეგნულად უგანზომილებო გვეჩვენება, სინამდვილეში კი მას აქვს განზომილება: მნიშვნელში მოცემულია

ვარდნა კილომეტრზე, ე. ი. არსებითად განყენებული რიცხვი, მრიცხველში კი ნაწილაკის დიამეტრს სიგრძის განზომილება აქვს. მაშასადამე, მთლიანად შეფარდებას უნდა ჰქონდეს სიგრძის განზომილება, რაც გაჩვეულ უხერხულობას ჰქმნის ყოველგვარი გამოთვლისათვის.

მ. ველიკანოვმა ვარდნა კილომეტრზე მნიშვნელში შეცვალა ქანობით და სიღრმით. ამის შემდეგ როგორც მრიცხველი, ისე მნიშვნელი გაამრავლა სიმძიმის ძალის g აჩქარებაზე და შეფარდებას ასეთი სახე მიიღო:

$$\frac{gD}{ghl}$$

ვინაიდან ნაკადის დინამიკური სიჩქარე $v = \sqrt{ghl}$, შენაცვლების შემდეგ ლოხტინის კოეფიციენტი ღებულობს ასეთ სახეს:

$$\eta = \frac{gD}{v^2} \quad (30)$$

ამ ფორმულით კოეფიციენტის გამოთვლა შედარებით ადვილია, რადგან განააზღვრულ უბანზე სიჩქარის გაზომვა უფრო მოსახერხებელია, ვიდრე მდინარის ქანობის. ზემოაღნიშნული დამოკიდებულებიდან გამომდინარეობს, რომ კალაპოტის ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი და მდინარის საშუალო ვარდნა ან ნაკადის საშუალო სიჩქარე მდინარის კალაპოტის ცვლილებისა და მდგრადობის ძირითად ფაქტორს წარმოადგენენ. გარდა ამისა, რაც უფრო ძლიერია წყალდიდობა, ე. ი. მკვეთრია დონის აწევა, მით უფრო მეტია, სხვა თანაბარ პირობებში, ნაკადის ამპლიტიუდებიანი ძალა; მდინარე უცბად იტაცებს ფსკერიდან, განაკუთრებით ფლატეებიანი ნაპირებიდან უმცირეს ნაწილაკებს და მოაქვს ისინი დიდი რაოდენობით. წყალდიდობის ტალღების გამრეცხუნარიანობა განსაკუთრებით აქტიურია კალაპოტის მოხვეულებში, ე. ი. ნატბორებზე და შედარებით სუსტია გადატეხის ადგილებში — ჩქერებზე. წყალდიდობის გავლის შემდეგ კი სურათი იცვლება, იწყება შებრუნებითი პროცესი — ჩქერებზე გარეცხვა და ნალექების ნატბორებში დალექვა. წყლის ჰორიზონტის დაცემის შედეგად ჩქერების უბანზე ნატბორით წაზრდილ ადგილებში წარმოიშვება დიდი ქანობი, ნაკადი გათხრის რამდენიმე კვალს და გარეცხვის პროდუქტები გადააქვს ქვემოთ მდებარე ნატბორში; უკანასკნელში კი, ჩქერით წარმოქმნილი შეტბორვის შედეგად სიჩქარეების შემცირების გამო ხდება გარეცხვის შესუსტება და შეწყვეტა კი.

ზემოაღნიშნული ფორმულის ნაკლს წარმოადგენს ის, რომ მისი საშუალებით შეიძლება გამოანგარიშებულ იქნეს მდგრადობის კოეფიციენ-

ტი ნაწილაკის რომელიმე ფრაქციისათვის, ე. ი. იგი გამოიყენება ისეთი კალაპოტისათვის, რომელიც ერთნაირი ზომის ნაწილაკებისაგან არის შემდგარი. ბარის მდინარეებში, რომლებიც მთლიანად ალუვიალურ დანალექებში მოძრაობენ, ქვიშის ნაწილაკების ზომებს სხვაობის დიდი ამპლიტუდა არ ახასიათებს, ამიტომ ზემომოყვანილი ფორმულის ნაკლი ამ შემთხვევისათვის არსებითი არ არის. მაგრამ როდესაც საქმე გვაქვს მთისა და მთისძირა მდინარეებთან, რომელთა კალაპოტი სხვადასხვა ფრაქციების ნაწილაკებისაგან შედგება, დაწყებული წვრილი ქვიშისაგან და დამთავრებული მსხვილი ქვებით, აქ ეს ფორმულა ვერ მოგვცემს რეალურ სურათს. ნაწილაკების საშუალო ზომისათვის გამოანგარიშებული მდგრადობის კოეფიციენტი კალაპოტის ძვრადობას სრულად ვერ ასახავს. მართლაც, მცირე სიჩქარეებისა და ხარჯების დროს მოძრაობაში იქნება კალაპოტის პატარა ნაწილაკები, დიდი სიჩქარეების დროს მოძრაობაში მოვა უფრო დიდი ზომის ნალექები და ბოლოს, მაქსიმალური ხარჯების დროს გადაადგილდებიან დიდი ზომის ქვებიც კი. მიიღო რა ზემოთქმული მხედველობაში, მ. ველიკანოვი შეეცადა ჩამოეყალიბებინა კალაპოტის ძვრადობის ისეთ მაჩვენებელი, რომელიც ასახავდა ნაკადის კალაპოტზე შემოქმედების მრავალფეროვნებას მდინარის ცხოვრების სხვადასხვა პერიოდში. ამისათვის მან შეაბრუნა მდგრადობის კოეფიციენტი, მოცემული (30) ფორმულის სახით და გამოაქლო რიცხვი 15 ზემომოყვანილი განტოლების (8) შესაბამისად.

სხვაობა

$$\frac{u^2}{gD} - 15 = \varphi, \quad (31)$$

რომელიც φ -ით აღნიშნა, წარმოადგენს მდინარის კალაპოტში არსებული ნაკადის ენერჯის სიჭარბეს (превышение) იმ ნაკადის ენერჯისთან შედარებით, რომელიც საკმარისი იქნებოდა ამ ზომის ნაწილაკების ასა-
მოძრაველად.

მიღებული სიდიდე (31) შეიძლება გავავარცელოთ კალაპოტში არსებულ ყველა ზომის ფრაქციებზე. ვთქვათ, კალაპოტის გრუნტის მექანიკური შემადგენლობის ანალიზის შედეგად მივიღეთ ასეთი სიდიდეები:

$$D_1 \dots \dots \omega_1$$

$$D_2 \dots \dots \omega_2$$

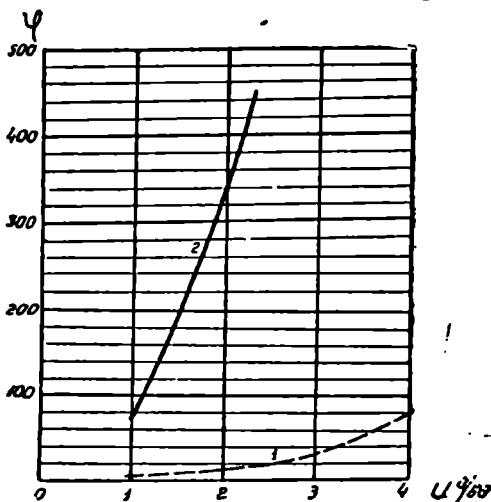
$$\dots \dots \dots$$

$$D_t \dots \dots \omega_t,$$

სადაც α_i არის i ფრაქციის ნაწილაკის შეფარდებითი მოცულობა კალაპოტის გრუნტის მთლიან მასაში. თუ ყველა ზომის ნაწილაკისათვის ჩვენ გამოვიანგარიშებთ φ -ის მნიშვნელობას, მაშინ კალაპოტის მოძრაობის ძაჩვენებელი ასეთი მექანიკური შემადგენლობის მქონე კალაპოტისათვის იქნება:

$$\varphi = \sum \varphi_i \alpha_i \quad (32)$$

ეს სიდიდე უნდა გამოთვლილი იქნეს სიჩქარის ყველა მნიშვნელობისათვის ცალ-ცალკე და მაშინ შესაძლებელი იქნება ავაგოთ $\varphi(u)$ დამოკიდებულებ-



ნახ. 45. $\varphi(u)$ -ის გამომსახველი მრუდები მდ. მდ. კასახისა და ძორაგეტისათვის.

ბის მრუდი, რომელიც გამოსახავს φ ცვლილებას მდინარის რეჟიმის სხვადასხვა პერიოდისათვის. 45-ე ნახაზზე მოცემულია ორი ასეთი მრუდი: ერთი მდ. კასახისა და მეორე მდ. ძორაგეტისათვის.

კალაპოტის გრუნტის მექანიკური შემადგენლობა მოყვანილია მე-6 და მე-7 ცხრილებში.

ც ხ რ ი ლ ი 6

მდ. კასახის ნალექების მექანიკური შემადგენლობა

ფრაქციების შემადგენლობა %	2	3	10	15	15	30	25
ფრაქციების ღიაშტრი	1-2	2-5	5-10	10-20	20-50	50-100	100

მდ. ძორაგეტის ნალექების მექანიკური შემადგენლობა

ფრაქციების შემადგენლობა %	1,6	10,6	5,6	1,8	51,7	9,3	7,4	8,8	9,2
ფრაქციების ლიმეტრი	0,25	0,5—0,25	0,75—0,5	1—0,75	2—1	3—2	5—3	7—5	7

როგორც ვხედავთ, ამ ორი მდინარის კალაპოტის შემცველი გრუნტის მექანიკური შემადგენლობა სხვადასხვაგვარია. მდ. კასახის კალაპოტი უპირატესად მსხვილი ფრაქციებისაგან შედგება, ამიტომ მათი გადაადგილებისათვის დიდი სიჩქარეებია საჭირო. მდ. ძორაგეტზე კი პირიქით — კალაპოტი უმთავრესად წვრილი ფრაქციებისაგან არის შექმნილი, რის გამოც მცირე სიჩქარეებსაც შეუძლია ეს ნაწილაკები მოძრაობაში მოიყვანოს.

როგორც 45-ე ნახაზიდან ჩანს, მდ. ძორაგეტისათვის დ(ა)-ს გამომსახველი მრუდი გაცილებით დამრეცია, ვიდრე მდ. კასახის. ეს იმის მაჩვენებელია, რომ მდ. ძორაგეტის კალაპოტი გაცილებით უფრო ძვრადია ვიდრე მდ. კასახის.

ამა თუ იმ მდინარის კალაპოტის ძვრადობის კიდევ უფრო ნათელ სურათს მივიღებთ, თუ ავიღებთ ჰორიზონტებისა და სიჩქარეების ცვლილების გრაფიკს მთელი წლის მანძილზე და ამ მონაცემების საფუძველზე გამოვთვლით კალაპოტის მოძრაობის მაჩვენებელს პერიოდების მიხედვით. ასე, მაგალითად, ნ. შარაშკინას მიერ შედგენილ იქნა დ-ს ცვლილების გრაფიკი მდ. ძორაგეტისათვის მთელი წლის მანძილზე დეკადებისა და თვეების მიხედვით [5]. დ-ს ყველაზე დიდი მნიშვნელობა აპრილისა და მაისის თვეშია, ე. ი. ამ პერიოდში მდინარის კალაპოტის ძვრადობა ყველაზე ინტენსიურია. ეს პერიოდი კი წყალდიდობის გავლის პერიოდია, როდესაც ნაკადის სიჩქარეები მდინარეში მაქსიმალურია.

2. მდინარის მორფომატრული მახასიათებლები

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, მდინარის ნაკადი და კალაპოტი განაგებენ ერთმანეთს და ამ ურთიერთკავშირში ცდილობენ მიაღწიონ ისეთ სასურველ ფორმას, რომელიც განაპირობებს წინააღმდეგობის მინიმუმამდე დაყვანას. პრაქტიკის მაგალითები და ლაბორატორიული გამოკვლევების მონაცემები გვიჩვენებენ, რომ ასეთი ფორმების რიცხვი მეტად განსაზღვრულია. თუ ბეტონისა და სხვა მასალებისაგან გაკეთებულ ხელოვნურ კალაპოტს ჩვენ შეგვიძლია მივცეთ სასურველი ფორმა, ვაიძულოთ ნაკადი იდინოს ამ კვეთით და განვსაზღვროთ სათანადო სიჩქარეთა არე, მდინარეებში ასეთი დამორჩილება შეუძლებელია.

ბუნებაში არსებობს გარკვეული კანონზომიერებანი მდინარის პილარულიკურ ელემენტებსა და კალაპოტის გეომეტრიულ ზომებს შორის, რომელთაც მორფომეტრიული მახასიათებლები ეწოდება. მაგალითად, ბუნებაში არ არსებობს მდინარეები, რომლებიც მშვიდად მიედინებიან კლდოვან კალაპოტში ან ბობოქარი მდინარეები, რომლებიც სწრაფად მიედინებიან შლამიან ფსკერზე, იმიტომ, რომ კლდოვანი კალაპოტები დამახასიათებელია დიდქანობიანი მთის მდინარეებისათვის, სადაც ნაკადის სიჩქარე უთუოდ მეტი უნდა იყოს. პირიქით, ალუვიური დანალექებისაგან შემდგარი კალაპოტი ბარის წყნარი მდინარეების დამახასიათებელია, რომელთაც მცირე ქანობი აქვს და ამიტომ ნაკადს არ შეიძლება სწრაფი დინება ჰქონდეს.

ასეთივე კანონზომიერება არსებობს მდინარის სიგანესა და მის მოხვეულობას შორის. განიერ წყალუხვ მდინარეებს არ შეიძლება ჰქონდეს მცირე რადიუსის მოხვეულობა და, პირიქით, მცირეხარჯიანს, შედარებით პატარა განის მქონე მდინარეს, არ შეიძლება ჰქონდეს ისეთი სიღრმე, რომელიც დიდ მდინარეებს ახასიათებს.

მაშასადამე, ბუნებრივი კალაპოტის მქონე ნაკადებში გარკვეული დამოკიდებულება არსებობს ერთი მხრივ სიგანესა, სიღრმესა, მოხვეულობის რადიუსსა და სხვა გეომეტრიულ მახასიათებლებს შორის და ზეორე მხრივ ქანობსა, სიჩქარესა, ხარჯსა და სხვა ჰიდრაულიკურ ელემენტებს შორის.

პრაქტიკულად მეტად საინტერესოა კალაპოტის სიგანის დამოკიდებულება მის საშუალო სიღრმესთან, ე. ი. შეფარდება $B : H$. ჩვეულებრივ ვცდილობთ შევამციროთ ეს შეფარდება სიღრმის გადიდების გზით. მაგრამ, როგორც ცდები გვიჩვენებენ, ამ შეფარდების შემცირების განხორციელება შესაძლებელია მხოლოდ განსაზღვრულ ფარგლებში, ვინაიდან მდინარის ყოველი უბნისათვის არსებობს $B : H$ -ის გარკვეული მნიშვნელობა, რომლისაგან მეტად ძნელია გადავახვევინოთ მდინარეს (ნახ. 46). ეს აიხსნება იმით, რომ სიღრმის გადიდებასთან ერთად (იგულისხმება, რომ მდინარის ხარჯი არ იცვლება) იქმნება სიჩქარის შემცირების პირობები. ამის შედეგად მას (სიჩქარეს) თანდათან ელევა ძალა ფსკერული ნატანის გადასაადგილებლად, რის გამო იწყება ფსკერის დალექვა (ამაღლებს), მაშასადამე, სიღრმის შემცირება.

ეს შეფარდება, უეჭველია, დამოკიდებულია შემდეგ ფაქტორებზე: მდინარის ხარჯების რეჟიმზე, ქანობზე, მისი კალაპოტის ხასიათსა და ზემოდან წამოღებული ნატანის რაოდენობაზე. მისი სიდიდე ცვალებადია სხვადასხვა მდინარისათვის. პატარა მდინარეებსა და ნაკადულებში ეს შეფარდება უფრო მცირეა, ვიდრე დიდ მდინარეებში, ერთსა და იმავე მდინარისათვის ეს შეფარდება იზრდება ქვევით დინების მიმართულებით.

ისეთი მდინარეებისათვის, რომლებიც არ არის დაყოფილი ტოტებად

და რომელთაც არა აქვს მეჩეჩები (რიყეები), 5—10%-იანი უზრუნველყოფის წყლის ხარჯის დროს, ს. ალტუნინის მიერ მიღებულია შემდეგი დამოკიდებულება კალაპოტის სიღრმესა და სიგანეს შორის:

$$\frac{B^m}{H} = k, \quad (33)$$

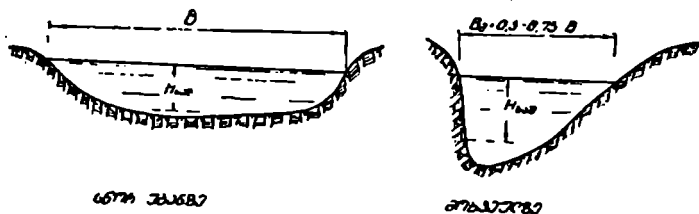
სადაც B მდინარის სიგანეა წყლის კიდეებს შორის;

H — საშუალო სიღრმე მდინარის სწორხაზოვან უბანზე;

m — ხარისხის ცვალეზადი მაჩვენებელი კალაპოტის წარმოქმნილი ხარჯისათვის და დამოკიდებულია მდინარის ხასიათზე, მაგალითად, მთის მდინარეებისათვის ის მერყეობს

— 1,0 ÷ 0,9	
მთისწინა მდინარეებისათვის	— 0,9 ÷ 0,67
ვაკის მდინარეებისათვის	— 0,6 ÷ 0,5

k არის ცვალეზადი კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა არარეცხვადი და ძნელად რეცხვადი ნაპირების მქონე მდინარეებისათვის 3—4-ის ტოლია, ალუვიური, გეგმაში მდგრადი კალაპოტის მქონე მდინარისათვის



ნახ. 46. განიკვეთები მდინარის სხვადასხვა უბანზე.

8—12-ის, ადვილად რეცხვადი ნაპირების მქონე მდინარეებისათვის კი იზრდება 16-დან 20-მდე.

ცვალეზადი მაჩვენებლის m სიდიდე შეიძლება განვსაზღვროთ ი. ორლოვის ფორმულით:

$$m = \left(\frac{S_0}{S_1} \right)^{0,1} = 0,72 \left(\frac{d(\sigma-1)}{HI} \right), \quad (34)$$

სადაც S_0 წატაცების საწყისი ძალა;

S_1 — ნაკადის წამტაცი ძალა ($კვ/მ^2$);

d — ნატანის ხვედრითი წონა ($ტ/მ^3$);

I — წყლის ზედაპირის გრძივი ქანობი;

d — ნატანის ნარევის ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი (მ).
რომლის სიდიდე შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით:

$$d = \frac{\sum d_i p_i}{100},$$

სადაც d_i ცალკეული ფრაქციის საშუალო დიამეტრია;

P_i — ფრაქციის შემცველობის პროცენტი.

შუა აზიის მდინარეებისათვის ს. ალტუნინის მიერ მიღებულ იქნა შემდეგი სახის დამოკიდებულება კალაპოტის სიგანესა და მის ქანობსა და წყლის ხარჯს შორის:

$$B = \rho \frac{Q^{0,5}}{I^{0,2}}, \quad (35)$$

სადაც ρ დამოკიდებულია მასალაზე, რომლისაგანაც შემდგარია მდინარის კალაპოტი. ასე, მაგალითად, მთიან უბნებზე, სადაც დანარჩეის შემადგენელი ნაწილაკის სიდიდე (d) 300 მმ-ზე მეტია,

$$\rho = 0,7 \div 0,9.$$

მთისწინა უბნებზე, სადაც დანარჩეი იცვლება $d = 8 \div 300$ მმ, $\rho = 0,9 - 1,0$, ვაკე უბნებზე კი $\rho = 1,0 \div 1,1$.

მდინარის ქვემო წელისათვის, სადაც კალაპოტი ძალიან წვრილი ქვიშისაგან შედგება, ρ -ის მნიშვნელობა იზრდება $1,1 \div 1,7$ (მაგალითად, ამუდარიისათვის).

მდგრადი კალაპოტის სიგანე აგრეთვე განისაზღვრება ფორმულით:

$$B = A Q^{0,165}, \quad (36)$$

სადაც $A = 17$ მდინარეების მთიანი უბნებისათვის და

$A = 34$ მთისწინა უბნებისათვის [2].

უნდა აღინიშნოს, რომ მდინარის კალაპოტის სიგანე ერთნაირი არ არის, მაგალითად, მრუდხაზოვან უბნებზე იგი მცირდება $0,75 \div 0,5 B$; დამრეცი მოხვეულობის და რეცხვადი ნაპირებისა და ფსკერის დროს — $0,75 B$ -მდე, ხოლო მკვეთრი მოხვეულობისა და არარეცხვადი ნაპირების დროს — $0,5 B$ -მდე.

აღსანიშნავია ს. რიბკინის მიერ მდ. მდ. ვოლგისა და ოკას ჰიდრომეტრული მასალების დამუშავების შედეგები, რომლის საფუძველზე მან

მიიღო შემდეგი სახის დამოკიდებულება ნაკადის გეომეტრიულ და ჰიდრაულიკურ ელემენტებს შორის [1]:

$$\begin{aligned} B &= 6,75 Q^{0,57} k^{0,13} I^{-0,07}; \\ H &= 1,905 Q^{0,22} k^{0,5} I^{-0,24}; \\ V &= 0,778 Q^{0,21} k^{0,37} I^{0,31}, \end{aligned} \quad (37)$$

სადაც Q მრავალწლიური საშუალო ხარჯია ($მ^3/წმ$);
 k — განსახილველი პერიოდის მოდულის კოეფიციენტი, გამოსა-

ხული პროცენტებში $\left(\frac{Q_i}{Q}\right)$;

I — მდინარის ქანობი ($მმ/კმ$);

B — საშუალო სიგანე ($მ$);

H — საშუალო სიღრმე ($მ$);

V — საშუალო სიჩქარე ($მ/წმ$).

ზემოაღნიშნულ დამოკიდებულებათა გარდა ს. რიბკინმა მიიღო კიდევ შემდეგი თანათარღობა საშუალო ხარჯსა და ქანობს შორის:

$$I = \frac{0,000378}{Q^{0,35}}. \quad (38)$$

ეს თანათარღობა ზუსტად ვერ ასახავს დამოკიდებულებას ამ ორ ელემენტს შორის, მაგრამ საორიენტაციო გამოთვლებისათვის შეტად მოხერხებულია.

საინტერესო შედეგი მიიღო ს. რიბკინმა, როდესაც მანიჩგის ფორმულაში

$$v = \frac{H^{2/3} \cdot I^{1/2}}{n}$$

ან, სხვანაირად,

$$n = \frac{H^{2/3} \cdot I^{1/2}}{v}$$

ჩასვა H -ის, I -სა და V -ს მნიშვნელობები წინა ფორმულებიდან (37):

$$n = \frac{0,043}{Q^{0,073} k^{0,037}}. \quad (39)$$

ამ ფორმულით იყო გამოთვლილი ხაოიანობის კოეფიციენტი სხვადასხვა ხარჯებისათვის: 100, 1000, 10000. მიღებული მონაცემები მოყვანულია მე-8 ცხრილში.

წყლანობა (მპ/წმ)	n-ის მნიშვნელობა k-ს სხვადასხვა სიდიდის დროს		
	k=0,3	k=1,0	k=3,0
100	0,032	0,031	0,029
1000	0,027	0,026	0,025
10000	0,023	0,022	0,021

ეს შედეგები ძალიან ჰგავს ბ. პოლიაკოვის მიერ ჰიდრომეტრული მასალების დამუშავების საფუძველზე მიღებულ მონაცემებს.

რიბკინის ზემომოყვანილი განტოლებიდან შეიძლება მივიღოთ საშუალო სიჩქარის გამოსახულება შემდეგი საბით [11].

$$v_{საშ} = 20 H_{საშ}^{0,71} I^{0,5} B^{0,1} \quad (40)$$

თუ მას განვიხილავთ შეზის ფორმულასთან ერთად, მივიღებთ ხაოიანობის კოეფიციენტის შემდეგ მნიშვნელობას:

$$n = \frac{I}{20 H_{საშ}^{0,04} B^{0,10}} \quad (41)$$

ეს ფორმულა ხაოიანობის კოეფიციენტის სიდიდის მიახლოებით მნიშვნელობას იძლევა იმ კონკრეტული ფიზიკურ-გეოგრაფიული და გეოლოგიური პირობებისათვის, რომელიც დამახასიათებელია ვოლგისა და ოკის აუზებისათვის.

ზ. გრინბერგმა (1950 წ.) სცადა დაეზუსტებინა ს. რიბკინის ჰიდრომორფომეტრული ფორმულა, რისთვისაც გამოიყენა გულშკოვის ფორმულა და საბოლოოდ მიიღო ასეთი გამოსახულება:

$$n = \frac{k_1}{H_{საშ}^{0,2}} \quad (42)$$

სადაც k_1 არის კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა ზოგიერთი ტიპის მდინარეებისათვის მის მიერ განსაზღვრული იყო 0,032 სიდიდით.

დიდი მუშაობა ჩაატარა ნ. მაკავეევმა (1955 წ.), რომელმაც, მდ. მდ. ვოლგაზე, დნეპრსა და დონზე წარმოებული დაკვირვებების საფუძველზე

მიღებული ვრცელი მასალების ანალიზის შედეგად ჩამოაყალიბა შემდეგი დამოკიდებულება:

$$\frac{H_{საშ}}{B} = \varphi \frac{d_i}{I}, \quad (43)$$

სადაც d_i ნალექების საშუალო დიამეტრია;

I — წყლის ზედაპირის ქანობი, გამოხატული მეტრებში 1 კმ-ზე.

1954 წელს ი. იაკუნინის მიერ გამოქვეყნებულ საინტერესო ნაშრომში რეკომენდებულია შემდეგი სახის ფორმულა:

$$H'_{საშ} = 0,4 Q^{0,5} I^{-0,25} B^{-0,5}, \quad (44)$$

სადაც $H'_{საშ}$ — საშუალო სიღრმეა მდინარის ფარეატერზე. საშუალო სიღრმე განსახილველ უბანზე კი შეადგენს

$$H_{საშ} = 0,58 H'_{საშ}.$$

თუ ამ მნიშვნელობას ჩავსვამთ ფორმულაში (44), მივიღებთ:

$$H_{საშ} = 0,232 Q^{0,5} I^{-0,25} B^{-0,5}. \quad (45)$$

მდინარის კალაპოტის განივკვეთის მორფომეტრიის საკითხებზე არსებობს საზღვარგარეთის ქვეყნების მეცნიერთა გამოკვლევები. ბლენბის (1951 წ.), ლინდლესის (1919 წ.), დასაეის და სხვათა რეკომენდაციები არსებითად ძალიან უახლოვდებიან ჩვენი სპეციალისტების მიერ მოცემულ ფორმულებს. რაც შეეხება რიბკინისა და იაკუნინის მიერ მიღებულ სრულყოფილ ფორმულებს, მათი მსგავსი უცხოეთის ლიტერატურაში არ მოიპოვება.

დაბოლოს უნდა აღინიშნოს, რომ ზემომოყვანილი მორფომეტრული დამოკიდებულებანი არ ითვალისწინებენ ნაკადში ნალექების რაოდენობას, მათი ნაწილაკების ზომებსა და ფორმებს. ამის გამო, ეს ემპირიული ფორმულები უნდა განხილულ იქნეს როგორც მიახლოებითი, რომელთა საშუალებით შესაძლებელია კალაპოტის გეომეტრიული ზომების დადგენა სხვადასხვა სიზუსტით.

8. კავშირი მდინარის კალაპოტის ზომებსა და მის სიგრძეს შორის კავშირი

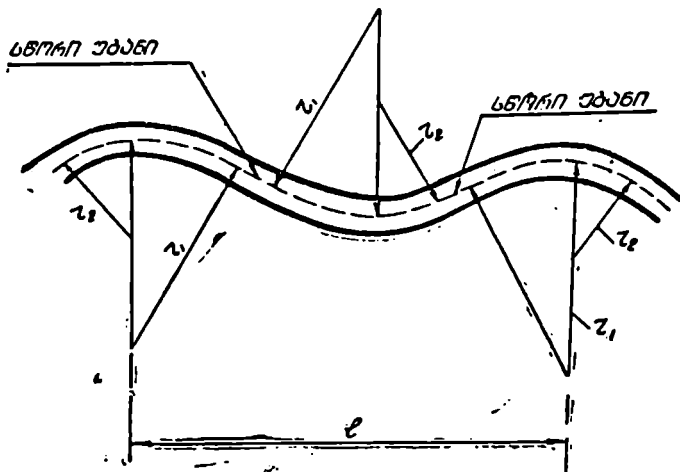
ბუნებრივ პირობებში მებანდრის ბიჯის საშუალო სიგრძე აქმაყოფილებს დამოკიდებულებას (ნახ. 47):

$$L = (12 \div 14) B, \quad (46)$$

სადაც B მდინარის სიგანეა მის სწორ ნაწილში.

მდგრადი კალაპოტების სიმრუდე გეგმაში დაახლოებით შეიძლება მოიხაზოს წრეწირების შეუღლებული ხაზებით ორი-სამი რადიუსით:

$$r_1 = (7 \div 8)B; \quad r_2 = (5 \div 6)B; \quad r_3 = 3,5B.$$



ნახ. 47. მდინარის მრუდხაზოვანი კალაპოტის სქემა.

მდინარის მოხვეულობის სიგრძე შეზნეჟილ ნაწილში, ე. ი. ნატორის სიგრძე დაახლოებით სიმრუდის რადიუსის სიგრძის ტოლია.

მრუდის უმცირესი რადიუსის განსაზღვრისათვის სხვადასხვა ფორმულა არსებობს.

ნ. რაზინის ფორმულით

$$r = \frac{100\sqrt{Q}}{\varphi^2}; \quad (47)$$

ნ. მაკავეევის ფორმულით

$$r = \frac{0,004}{I} \sqrt{Q^2}; \quad (48)$$

რიპლეის ფორმულით

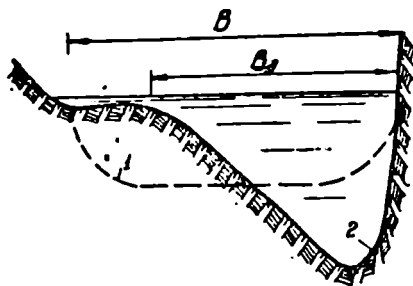
$$r = 40\sqrt{\omega}; \quad (49)$$

სადაც φ არის მოხვევის კუთხე (რადიანებში);

ω — ცოცხალი კვეთის ფართობი (m^2).

როგორც ზემოთ იყო ნათქვამი, კალაპოტის სიგანე (B) მრუდ უბანზე ყოველთვის უფრო ნაკლებია, ვიდრე სწორ უბანზე და ტოლია (ნახ. 48):

$$B_2 = (0,75 - 0,5)B. \quad (50)$$



ნახ. 48. მდინარის განივი კვეთი: 1 — სწორ უბანზე; 2 — მოხვეულზე.

საშუალო სიღრმის განსაზღვრა მოსახვევეში შეიძლება შემდეგი ფორმულით:

$$H_2 = H \left(1 + \tau \sqrt{\frac{B}{r}} \right), \quad (51)$$

ან

$$H_2 = k_2 H. \quad (52)$$

მაქსიმალური სიღრმე შეზნექილ ნაპირთან განისაზღვრება ფორმულით:

$$H_{max} = eH, \quad (53)$$

სადაც H_2 არის საშუალო სიღრმე მრუდ უბანზე (მ);

H — საშუალო სიღრმე სწორ უბანზე (მ);

H_{max} — მაქსიმალური სიღრმე მრუდ უბანზე;

τ, k_2, e საცდელი კოეფიციენტებია, რომელთა მნიშვნელობანიც $\frac{B}{r}$ -ზე დამოკიდებულებით მოყვანილია მე-9 ცხრილში.

ცხრილი 9

$\frac{B}{r}$	0	0,16	0,20	0,25	0,33	0,50	0,70	1,0
τ	0	0,60	0,60	0,65	0,75	0,85	2,00	—
k_2	1,00	1,24	1,27	1,33	1,43	1,60	2,69	3,0
e	1,27	1,48	1,84	2,20	2,57	3,00	—	—

ქვემოთყვანილ ცხრილში მოცემულია ϵ კოეფიციენტის მნიშვნელობა მდინარის მრუდნაზოვან უბნებზე (სადაც სიმრუდის რადიუსი იცვლება $4B > r > 3B$) შეზნეკილი ნაპირის სხვადასხვა ქანობის დროს:

ცხრილი 10

ქანობის კოეფიციენტი m	0,05	0,75—1,0	1,25—1,50	1,75—2,00
კოეფიციენტი ϵ	2,50	2,10	1,75	1,5

ეს მონაცემები ადასტურებენ იმას, რომ ფერდობის ფუძის გაღიდე-ბასთან ერთად, ე. ი. რაც უფრო დამრეცია შეზნეკილი ნაპირი, სიღრმე ნაპირთან მცირდება. ამიტომ ასეთ შემთხვევაში რაც უფრო დამრეცი იქნება ნაპირდამცველი ნაგებობანი, მით უფრო ნაკლებ გამორეცხვას ექნება ადგილი ფუძესთან.

მდინარის მოხვეულ უბანზე სითხის ნაწილაკებზე მოქმედ ძალებს ემატება ცენტრიდანული ძალები, რომლებიც მოქმედებენ სიმრუდის რადიუსის მიმართულებით.

ცენტრიდანული ძალა გამოისახება სიდიდით:

$$P = \frac{mv^2}{R},$$

სადაც m არის წყლის მასა, რომელიც გარკვეული სიჩქარით მოძრაობს მოსახვევზე;

R — კალაპოტის სიმრუდის რადიუსი.

ეს ძალა იწვევს წყლის დონის აწევას შეზნეკილ ნაპირთან და დაწევას გამოზნეკილთან, რითაც წარმოიშვება მდინარის განივკვეთში ვარდნილი Δy , რომელიც დაახლოებით ტოლია:

$$\Delta y = \frac{Bv^2}{gR_{საშ}}, \quad (54)$$

სადაც B არის კალაპოტის სიგანე წყლის კიდეებს შორის;

$R_{საშ}$ — მოსახვევის საშუალო რადიუსი.

ი. ლევი გვიჩვენებს ვისარგებლოთ შემდეგი ფორმულით:

$$\Delta y = \left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{v^2}{g}, \quad (55)$$

სადაც R_1 და R_2 მდინარის შეზნეკილი და გამოზნეკილი ნაპირების მოხვეულობის რადიუსებია.

სხვადასხვა ზომის ცენტრიდანული ძალების, დონეთა ვარდნისა და კორიოლისის აჩქარების ურთიერთქმედება წარმოშობს განივკვეთში ცირკულაციურ დინებას, რომელიც უერთდება წინსვლით დინებას და წარმოშობს ნაკადის ხრახნისებრ მოძრაობას.

ამის შედეგად მოსახვევებში ნაკადის ზედაპირული ჭავლები მოძრაობენ შეზნექილი ნაპირისაკენ — ეშვებიან ქვევით, რეცხავენ ნაპირს, ფსკერული კი გამოზნექილისაკენ — გამორეცხვის პროდუქტი გადააქვთ გამოზნექილი ნაპირისაკენ, სადაც ხდება მათი დარიყვა. სიღრმე შეზნექილ ნაპირთან 1 1/2—2 1/2-ჯერ მეტია, ვიდრე საშუალო სიღრმე სწორ უბანზე.

4. ნაპირსადაც ნაგებობათა დაპროექტების ძირითადი საფუძვლები

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მდინარის ნაკადის ზემოქმედება იწვევს კალაპოტის კონფიგურაციის შეცვლას, ხანდახან მეტად არასასურველს და მიმართულს ადამიანის სამეურნეო საქმიანობის საზიანოდ. ასეთ შემთხვევებში საჭირო ხდება სპეციალურ დაცვით ღონისძიებათა დასახვა ნაკადზე სათანადო ზემოქმედების მიზნით.

ნაპირების დაცვა გარეცხვისაგან შეიძლება რამდენიმე ხერხით ხორციელდებოდეს: საგუბრების შექმნით, ფსკერული ზღურბლების მოწყობით, კალაპოტების გაგანიერებითა და გასწორებით და სხვ.

ჩვენ განვიხილავთ ნაპირების დასაცავ ღონისძიებებს, რომლებიც დაკავშირებულია სპეციალურ სარეგულაციო ნაგებობათა მოწყობასთან. ეს ნაგებობანი შეიძლება ორგვარი სახის იყოს: ა) ნაპირის უშუალო გამაგრება გრძივი ნაგებობებით, ბ) ნაპირის გამაგრება განივი ნაგებობებით — დეზებით.

როგორც პრაქტიკამ გვიჩვენა, გრძივი ნაგებობანი განივთან შედარებით მოითხოვენ დიდი მოცულობის სამუშაოთა შესრულებას და, მაშასადამე, დიდ ფულად სახსრებს. ამიტომ ეკონომიურად უფრო მიზანშეწონილია ნაპირის დაცვის საკითხის გადაჭრა განივი ჭავლგანმდევი ნაგებობებით — დეზებით, დამბებით.

ა. განივ ნაგებობათა განლაგება

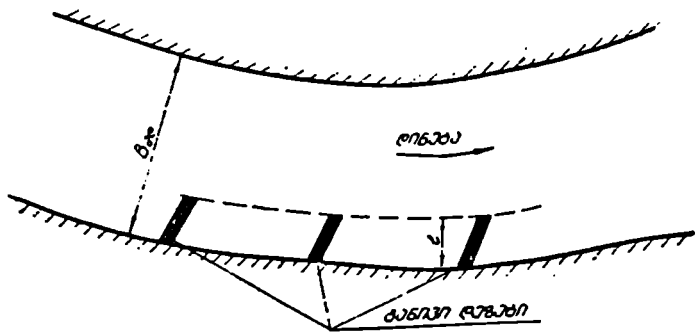
დეზები იწვევენ ნაკადის ადგილობრივ განივ შევიწროებას, მდინარეში წყლის მოძრაობის დინამიკური ღერძის შეცვლას გარეშე. დამბები კი, პირიქით, იწვევენ დინამიკური ღერძის გადახრას მოპირდაპირე ნაპირისაკენ და ამით მნიშვნელოვნად ცვლიან მდინარის დინების პირობებს.

ზემოაღნიშნულის გამო დეზები ეწოდება ისეთ ნაგებობებს, რომელთა სიგრძის შეფარდება მოქმედი კალაპოტის სიგანესთან ტოლია (ნახ. 49):

$$l_1: B_{\text{გდ}} \leq 0,33, \quad (56)$$

დამბების შემთხვევაში კი

$$l_2: B_{\text{გდ}} \geq 0,33 \quad (57)$$



ნახ. 49. განივი ღეზების განლაგება.

ან, თუ ავიღებთ კალაპოტში წყლის ხარჯებს, მაშინ ღეზებისათვის გვექნება:

$$Q_1: Q \leq 0,33 \quad (58)$$

ღამბებისათვის კი -

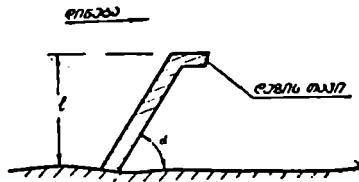
$$Q_2: Q \geq 0,33, \quad (59)$$

სადაც Q_1 და Q_2 არის წყლის ხარჯები, რომლებიც გაივლის ღეზით ან ღამბით გადაკეტილი კალაპოტის ზოლზე;

Q — საერთო ხარჯი კალაპოტში.

განივ ნაგებობათა მუშაობა დამოკიდებულია ნაკადის დინების კუთხეზე და ამ ნაგებობათა განლაგებაზე სანაპირო ხაზის მიმართ (ნახ. 50).

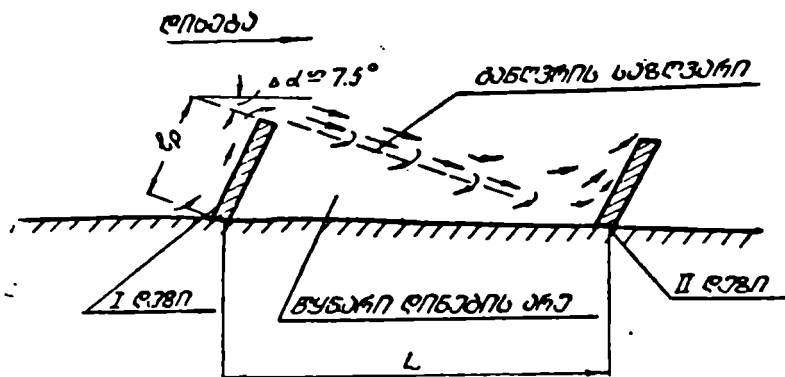
ცლები გვიჩვენებენ, რომ ნაკადი ღეზების მისასვლელელებზე იწვევს შეტბორვას, ე. ი. ნაგებობის მახლობლად ხდება ნაკადის ჰორიზონტის აწევა და გრძივი სიჩქარეების შემცირება. ღეზის თავის ქვევით ადგილი აქვს ჰორიზონტის ვარდნას და, მაშასადამე, დინების სიჩქარეების გადიდებას. სწორედ ეს ვარდნა იწვევს გარეცხვებს. ღეზის თავთან. ადგილობრივ გარეცხვაზე თავის გავლენას ახდენს ღეზის გეგმური მდებარეობა. თუ განივი ნაგებობანი განლაგებულია დინების მართობულად, ნაკადი უფრო მეტად აწევა ნაპირს და ღეზის ტანს, რაც იწვევს გარეცხვის შედარებით დიდ სიღრმეებს, მაშინ როდესაც განივ ნაგებობათა დინების მიმართულებით განლაგებისას ნაკადის ღერძი შორდება ღეზების თავებს და ადგილობრივი გარეცხვები შედარებით მცირდება.



ნახ. 50. განივი ღეზის ძირითადი ელემენტები.

ამის გამო დამცველი დეზები და დამბები იგება დინების მიმართულებით და $60 - 75^\circ$ -იანი კუთხის დახრილობით.

ცალკეულ შემთხვევებში მსუბუქი კონსტრუქციის ნაგებობების დროს (ქვა-ფიჩხოვანი, ძელყორის და სხვ.) დახრილობის კუთხე კიდევ უფრო უნდა შევამცაროთ, დაახლოებით $30 - 45^\circ$ -მდე. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ განივ ნაგებობათა განლაგების საკითხი მდინარის სარეგულაციო



ნახ. 51. ღეზების მუშაობის სქემა.

უბანზე მოითხოვს შემდგომ შესწავლას თვით ნაგებობის კონსტრუქციულ ფორმასთან ერთად.

იმასთან დაკავშირებით, რომ ნაგებობის თავთან ადგილი აქვს გარეცხვებს, ღეზების განლაგების დადგენის დროს უნდა ვცდილობდეთ წყლის ვარდნის შემცირებას. ამისათვის ღეზი ისე უნდა მდებარეობდეს, რომ შეტბორვა ზედა ბიეფში ვრცელდებოდეს ზემომდებარე ღეზის თავამდე.

ქვედა ბიეფიდან ღეზის შეტბორვის დროს ნაკადის მოძრაობა განისაზღვრება განღვრის კუთხით $\Delta\alpha$, ამასთან (ნახ. 51):

$$\operatorname{tg} \Delta\alpha = \frac{1}{6}$$

და

$$\Delta\alpha = 7^\circ.$$

აქედან გამომდინარე, მანძილი ღეზებს შორის ს. ალტუნინმა და ი. ბუზუნოვმა განსაზღვრეს განტოლებით (მხედველობაში მიღებული იყო ქაველების სწერივი მოძრაობა):

$$L_1 = l_p \sin \alpha \cdot \cotg \Delta \alpha + l_p \cos \alpha \approx l_p \sin \alpha, \quad (60)$$

სადაც l_p არის დეზის სამუშაო სიგრძე;
 α — დეზის დახრილობის კუთხე.

დეზის ძირის უზრუნველსაყოფად გამორეცხვისაგან ხანდახან ღებულობენ

$$l_p = 2/3 l.$$

მაშინ $L = 4 l \sin \alpha$. (61)

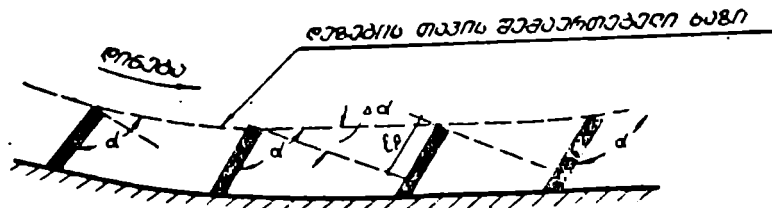
ამ შემთხვევებისათვის, როდესაც კუთხე $\alpha > 75^\circ$, მივიღებთ:

$$L = 4l. \quad (62)$$

მანძილი დეზებს შორის, რომლებიც შეზნეკილ მრუდზეა განლაგებული, განისაზღვრება იმავე (61) და (62) გამოსახულებებით.

ამ შემთხვევაში α იქნება კუთხე, რომელსაც დეზის ღერძი ქმნის მრუდის მხების მიმართულებასთან (ნახ. 52).

მაშასადამე, დეზებს შორის მანძილის გამოთვლაში მონაწილეობს ნაკ-



ნახ. 52. დეზების განლაგება მრუდხაზოვან ნაპირზე.

დის განღვრის კუთხე $\Delta \alpha$, რომლის სიდიდეს ავტორების უმრავლესობა მუდმივად ღებულობს.

როგორც უკანასკნელმა გამოკვლევებმა ცხადჰყო, ასეთი დაშვება სწორი არ არის. იგი ცვლილებას განიცდის ბუნებრივ კალაპოტში არსებული სხვადასხვა ფაქტორის შედეგად.

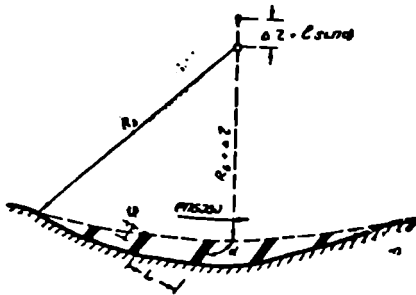
სომხეთის ჰიდროტექნიკისა და მელორაციის სამეცნიერო-საკვლევო ინსტიტუტის მონაცემებით $\Delta \alpha$ ცვლილება განისაზღვრება დამოკიდებულებით [28]:

$$\Delta\alpha = 15 \cdot 2 \left(\frac{z}{h} \right)^{1/3},$$

სადაც h ნაკადის სიღრმეა;

z — ჰორიზონტის ვარდნის სიდიდე დეზთან, რომელიც დამოკიდებულია l_p და α მნიშვნელობებზე.

საქართველოს ჰიდროტექნიკისა და მელიორაციის სამეცნიერო-საკვლევო ინსტიტუტის ლაბორატორიაში მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტი



ნახ. 53. დამცველი ტრასის სიმრუდის განსაზღვრის სქემა.

იქნა ჩატარებული, რის საფუძველზე დადგენილ იქნა, რომ $\Delta\alpha$ -ს გამომსახველი ზემოთ მოყვანილი ფორმულა კიდევ მოითხოვს დაზუსტებას. ამ ფორმულით მიღებული $\Delta\alpha$ მნიშვნელობანი განსხვავდებიან ექსპერიმენტების მონაცემებისაგან. როგორც ირკვევა მისი სიდიდე გარდა h და z -სა დამოკიდებულია აგრეთვე კალაპოტის შევიწროვების ხასიათზე, დეზის სიგრძეზე, მისი თავის ფორმაზე და სხვა ფაქტორებზე.

ამგვარად, დეზებს შორის ობტიმალური მანძილის დასადგენად საჭიროა ცდების ჩატარების საფუძველზე დაზუსტდეს $\Delta\alpha$ -ს მნიშვნელობა.

ნაკადის მდგრადი დინების უზრუნველსაყოფად დეზების თავები უნდა განლაგდეს მრუდზე, რომლის რადიუსი იქნება არა უმცირეს 4,5 B -სი და არა უმეტეს $(6 \div 7)B$ -სი.

ამასთან დამცველი ტრასის სიმრუდის რადიუსს იღებენ რამდენადმე უფრო მეტს, ვიდრე გასამაგრებელი ნაპირის სიმრუდის რადიუსია; ეს განსხვავება ტოლია $\Delta z = \frac{l_p}{2}$ ამით უზრუნველყოფილია ნაკადის მდოვრე

(ნარნარი) დინება აგებულ დამცველ ნაგებობათა გაყოლებით (ნახ. 53).

დეზის მინიმალური სიგრძე ისეთი უნდა იყოს, რომ მას შეეძლოს ფერდობის მდგრადობის უზრუნველყოფა. ამ პირობებიდან გამომდინარე ს. ალტუნინი იძლევა შეფარდებას:

$$l \geq H_p \sqrt{1+m^2}, \quad (63)$$

სადაც H_p არის ნაკადის მაქსიმალური სიღრმე ნაგებობასთან;

m — ნაპირის შემადგენელი გრუნტის მდგრადობის კოეფიციენტი.

მაქსიმალური სიღრმე გამოითვლება შემდეგი გამოსახულებით:

$$H_p = C_1 H_0,$$

სადაც H_0 არის ნაკადის საშუალო სიღრმე ნაგებობის მისასვლელთან; C_1 — კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია კალაპოტის შევიწროვების ხარისხზე (ცხრილი 11), $\frac{\omega_1}{\omega}$ შეფარდებაზე (ა, ω_1 ნაკადის ცოცხალი კვეთის ფართობებია: შევიწროვებამდე და შევიწროვების შემდეგ).

ცხრილი 11

$\frac{\omega_1}{\omega}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
C_1	2,0	2,65	3,22	3,45	3,67	3,87	4,06	4,20

ღეზის საერთო სიგრძე ტოლია

$$l = l_p + l_0; \quad (64)$$

სადაც l_p არის ღეზის სამუშაო სიგრძე;

l_0 — ღეზის ძირის (ბოლო) ნაწილის სიგრძე.

ღეზის სამუშაო სიგრძის გამოსათვლელად მოცემულია შემდეგი გამოსახულება:

$$l_p = 6H_0 \left[\left(\frac{v_p \sin \alpha}{v_p'} \right)^{3/4} - \sin \alpha \right], \quad (65)$$

სადაც v_p და v_p' არის ზღვრული გადაადგილებადი სიჩქარეები;

α — კუთხე, რომელსაც ნაკადის დინება ქმნის ღეზთან.

გადაადგილების საწყის სიჩქარედ (v_p) თვლიან იმ სიჩქარეს, რომელიც ნაკადის 1 მ სიღრმისას აკმაყოფილებს კალაპოტის ფორმირების პირობებს ფსკერული ნატანის ფრაქციების საშუალო დიამეტრის დროს წყალდიდობისას. v_p' კი ის სიჩქარეა, რომელიც საჭიროა ნაპირის შემადგენელი გრუნტის ყველაზე მცირე ფრაქციების გადასაადგილებლად.

თუ მივიღებთ, რომ $v_p = 2v_p'$ და $\sin \alpha = 1.0$ (როდესაც $\alpha = 90^\circ$), გვექნება:

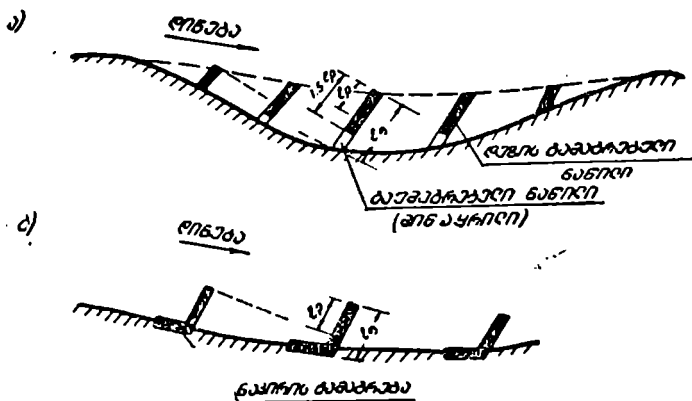
$$l_p = 6H_0(2^{3/4} - 1) = 4H_0. \quad (66)$$

მაშასადამე, ღეზის სამუშაო სიგრძე უნდა იყოს არა უმცირეს ნაკადის ოთხმაგი საშუალო სიღრმისა. ღეზის საერთო სიგრძე კი $l \geq 1,5l_p$.

პირველი დეზის სიგრძეს, რომელსაც პირდაპირ (შუბლში) სცემს ნაკადი, ღებულობენ რამდენადმე უფრო მცირე ზომისას

$$l_1 = \frac{2}{3} l. \quad (67)$$

პირველი დეზის სიგრძის შემცირებით მცირდება მისი დატვირთვა და ამით აღწევენ დატვირთვის თანაბარ განაწილებას ყველა დეზს შორის.



ნახ. 54. დეზისა და ნაპირის გამაგრების სქემა.

უკანასკნელი დეზიც აგრეთვე მოკლეა, მისი სიგრძე პირველი დეზის ტოლია. ეს საჭიროა უკანასკნელი დეზის ქვევით ვარდნის შესამცირებლად, თავთან გამორეცხვის შესასუსტებლად და დეზის ნაპირთან უფრო ნარნარი შეუღლებისათვის.

როგორც წესი, დეზის ბოლო ნაწილი უნდა შეიქრას და ჩამაგრდეს მდინარის ნაპირში. თუ დეზის ფაქტიური სიგრძე საანგარიშოზე მეტია: ე. ი.

$$l_{ფ} > 1,5l_p \quad (68)$$

მაშინ დეზის ნაპირზე მიბჯენილი ნაწილი ($l_{ფ} - 1,5l_p$) შეიძლება განვიხილოთ როგორც არამოქმედი და ამ შემთხვევაში ნაპირთან შეუღლება შეიძლება განვახორციელოთ მარტივი სახით ძირის ჩამაგრების გარეშე. შეეერთების ადგილი შეიძლება წარმოადგენდეს ყაპირის ნაყარს, წნევიანი ფერდობის გაუმაგრებლად (ნახ. 54,ა).

თუ დეზის ფაქტიური სიგრძე

$$l_{ფ} \leq 1,5l_p \quad (69)$$

მაშინ დეზის ძირი საფუძვლიანად უნდა ჩამაგრდეს ნაპირში და დეზის წნევიანი ფერდობი უნდა გამაგრდეს ნაპირამდე.

განსაკუთრებულ შემთხვევებში ეს გამაგრება შეიძლება გავავრცელოთ ნაპირის ნაწილზეც, დაახლოებით დეზებს შორის მანძილის 0,2—0,3 მონაკვეთზე (ნახ. 54, ბ).

როდესაც დეზები ებჯინება დაბალ ნაპირებს, რომლებიც წყალდიდობის დროს წყლით იფარება, დეზების ხაზის გაყოლებით საჭიროა შემომზვინავი დამბის მოწყობა.

დამბის ტრასა დანიშნული უნდა იქნეს იმ მრუდის პარალელურად, რომელზეც განლაგებულია დეზების თავები და, მაშასადამე, შეიძლება ის არ ეთანხმებოდეს ნაპირის კონტურს. შემომზვინავი დამბის წნევიანი ფერდობი დეზის მიკვრის ადგილას უნდა გამაგრდეს დეზებს შორის მანძილის 0,2—0,3 სიგრძეზე.

უნდა აღინიშნოს, რომ განივი ნაგებობების — დეზების განლაგება ცალ-ცალკე სისტემის გარეშე მიზანშეწონილი არ არის. ასეთ შემთხვევაში, როდესაც გამაგრების ფრონტი უმნიშვნელოა, ხელაყრელია გრძივი ნაპირსაცავი ნაგებობების გამოყენება.

ნაპირსაცავი დამბები იმით განსხვავდებიან დეზებისაგან, რომ დამბები იწვევენ მდინარის დინების პირობების მნიშვნელოვან შეცვლას, მიმართავენ რა ნაკადის დინამიკურ ღერძს მოპირდაპირე ნაპირისაკენ და ამლევენ უკანასკნელს მუდარულ მოზახულობას, რითაც ამცირებენ მდინარის გრძივ ქანობს.

ბ. ჰიდრაულიკური მოვლენები განივ ნაგებობათა ზონაში

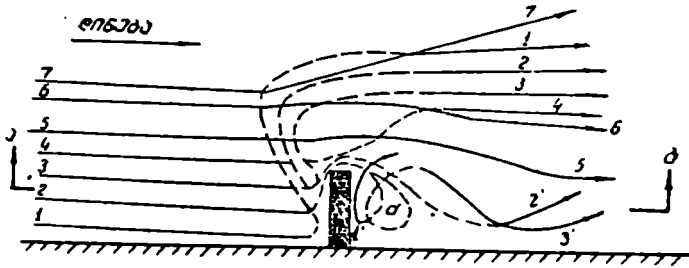
ს. ალტუნინი თავის ნაშრომში „კალაპოტების რეგულირება“ იძლევა ნაპირების დეზების გამაგრების დროს ჰიდრაულიკური მოვლენის შემდეგ დახასიათებას: ნაკადი, რომელიც დეზზე მოქმედებს, გადაწაწილდება როგორც სიგანეზე, ისე სიღრმეზე. ზედაპირული ჰაველები უხვევენ მთავარ კალაპოტისაკენ, ფსკერული ჰაველები კი — დეზებს შორის არსებული სივრცისაკენ და ამოდიან ზედაპირზე. ამასთან ვითარდება ცირკულაციური მოძრაობა დეზებთან, რომელიც იწვევს გარეცხვებს.

კ. არტამონოვმა ლაბორატორიულ და ნატურულ გამოკვლევათა საფუძველზე უფრო დეტალურად აღწერა დინების მდგომარეობა განივი დეზის ზონაში. ნაკადის სიგანე მან დაჰყო სამ დამახასიათებელ ზონად.

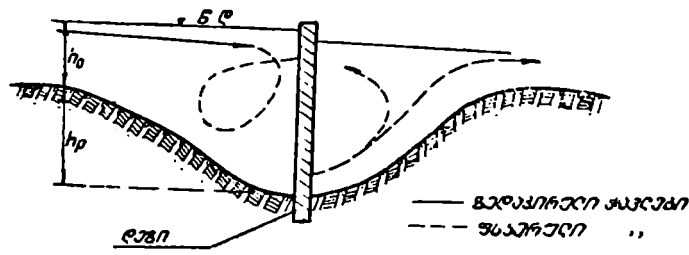
პირველი ზონა, რომლის სიგანე ტოლია დეზის სიგრძის. ნაკადის ეს ნაწილი, დაბრკოლებას ხვდება დეზის სახით, ეშვება ფსკერისაკენ და წარმოშობს ვერტიკალურ სიბრტყეში ცირკულაციას (ნახ. 55); შემდეგ მიიმართება დეზის ძირიდან სათავე ნაწილისაკენ, ეს ცირკულაცია იწვევს

ფუძესთან მეორად ცირკულაციას, რომელიც მიყვება დეზს და თანდათან ძლიერდება; გაშორდება რა დამბის თავს, ორივე ცირკულაცია იშლება მარაოსებურად და ამოდის ნაკადის ზედაპირზე. ამ ქველების ერთი ნაწილი (1, 2 და 3) დეზის გადაღმა წარმოქმნის მორევის ხასიათის მოძრაობას.

გეგმა



პრილი ა-ბ



ნახ. 55. ფსკერული და ზედაპირული ქველების მოძრაობა დეზთან.

ჩეორე კი ამოდის წყლის ზედაპირზე უშუალოდ დეზის უკან და წარმოშობს მორევის და ხრახნს ბრუნვის თარაზული ღერძით, რომელიც მიმართულია ნაპირის გაყოლებით.

მეორე ზონა წარმოადგენს ნაკადის იმ ნაწილს, რომელიც იწყება დეზის თავის სიბრტყიდან კალაპოტის შიგნით. იგი წარმოადგენს გარდამავალ უბანს; ამ ზონის ქველებიც ეშვებიან კალაპოტის ძირისაკენ (4). წარმოშობენ იქ ხრახნისებურ დინებას და შემდეგ ამოდიან ნაკადის ზედაპირზე.

მესამე ზონა შეადგენს ნაკადის მომდევნო უბანს. ამ ზონაში ქველები 5, 6, 7 ძირს არ ეშვებიან, მიიმართებიან ზედაპირზე და ინარჩუნე-

ბენ ნაკადის ძირითად მიმართულებას. ზოგჯერ ქველი 5 ექცევა მორევის გავლენის ქვეშ და იცვლის მიმართულებას

ზემოაღნიშნული დინების მოქმედებით დამბის გაყოლებით წარმოიშვება გარეცხვები, რომელთა ინტენსიურობა იზრდება ძირიდან თავისაკენ. ცირკულაციური დინების მოქმედების შედეგად მაქსიმალური სიღრმის ადგილობრივი გარეცხვები დამბის თავის ზონაშია.

უნდა აღინიშნოს, რომ ჰიდრაულიკური მოვლენების ზემოაღწერილი სურათი სრულყოფილი არ არის. ამ რთული პროცესის ყველა ელემენტი ნათლად არ არის გაშუქებული. ჩვენი აზრით, ამ მიმართულებით საჭიროა კიდევ ღრმა გამოკვლევების ჩატარება, რათა უფრო ზუსტად დადგინდეს განივ ნაგებობებზე ნაკადის ზემოქმედების ჰიდრაულიკური პროცესები, რომლებიც გარეცხვას იწვევენ.

ამ მოვლენის სწორი გენეზისი მისი საწინააღმდეგო ღონისძიებათა სწორი დასახვის საშუალებას მოგვცემს, რაც დიდად მნიშვნელოვანია დაპროექტების საქმეში.

გ. ადგილობრივი გარეცხვების სიღრმე ნაგებობებთან

განივი ნაგებობების დანიშნულებაა ნაკადის მოშორება ნაპირიდან უკანსკენელის დასაცავად გარეცხვისა და დანგრევისაგან.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ამ დროს ნაკადის მოქმედების სიჩქარე დეზის თავთან იზრდება და იწყება ფსკერის გარეცხვა დეზის ძირიდან თავისაკენ, სადაც ის თავის მაქსიმუმს აღწევს. მოსალოდნელი გარეცხვის სიღრმე ძირითად მომენტს წარმოადგენს დაპროექტების დროს და მას განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა, ვინაიდან ნაგებობის მდგრადობა და მისი ექსპლოატაციის პირობები დამოკიდებულია სწორედ ამ ფაქტორის განსაზღვრაზე.

მაგრამ გარეცხვის სიღრმის ცოტად თუ ბევრად სწორი განსაზღვრა რთული საქმეა, ვინაიდან ამ მოვლენის არსი დაკავშირებულია ნაკადის ჰიდროდინამიკურ ელემენტებთან (სიღრმე, სიჩქარე), დამცველ ნაგებობათა კონსტრუქციასთან (დეზების სიგრძე, წინა ფერდობის ფუძე), ნაგებობათა გეგმურ განლაგებასთან ნაკადის მიმართ და ბოლოს კალაპოტის აგებულიულებასთან (ნატანის ზომებზე). ამიტომ სხვადასხვა ემპირიული ფორმულებით მთლიანად ვერ აისახება ყველა ეს სახასიათო ფაქტორი და ამის გამო მიღებული შედეგებიც ზუსტი არ არის.

უდიდესი ადგილობრივი სიღრმის გამოსარკვევად ს. ალტუნინი იძლევა შემდეგ ფორმულას:

$$H_p = CH_0, \quad (70)$$

სადაც H_0 არის ნაკადის საშუალო სიღრმე ნაგებობის მისასვლელთან;

C — ადგილობრივი გარეცხვის კოეფიციენტი.

ეს ფორმულა ემყარება ი. ბუზუნოვის ვარაუდს, რომ ნაკადი ექაზება რა მაგარ ზღუდეს — დებს, იწყებს დაღმავალ დინებას და მისი ქველება იშლებიან ამ ზღუდეზე ელიფსური კონტურით.

აქედან გამომდინარე, ი. ბუზუნოვი წინადადებებს იძლევა C -ს გამოსათვლელად გამოვიყენოთ შემდეგი ფორმულა:

$$C = \frac{1}{\sqrt{1+m^2}} \left[6 \left(\frac{v_p \sin \alpha}{v_p' u} \right)^{3/4} + \sin \alpha \left(m - 6 \frac{k}{u} \right) \right] + 1, \quad (71)$$

აღაც m არის დების წნევიანი ფერდობის ფუძე;

v_p — კალაპოტის ფორმირების სიჩქარე;

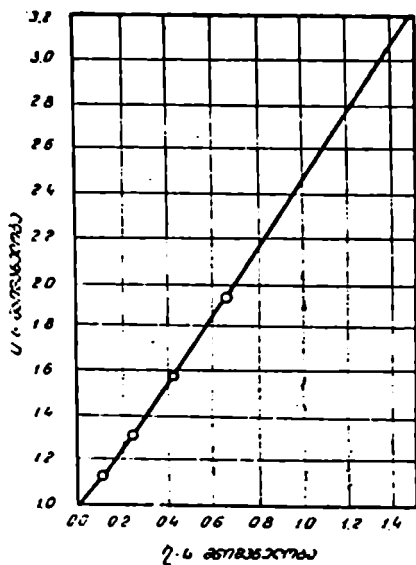
v_p' — წვრილი ნაწილაკების გამორეცხვის სიჩქარე წნევიანი ფერდობის ძირთან;

α — ნაკადსა და დების მიმართულებას შორის კუთხე (როდესაც დარტყმა შუბლურია $\alpha = 90^\circ$);

k — სიჩქარის გადიდების კოეფიციენტი, რომელიც ერთის ტოლია;

u — დების წნევიანი ფერდობის ზედაპირზე ნაკადის განშლის პერიმეტრის სიგრძე.

დინების განშლის კონტურის ელიფსური ფორმის დროს $u = f(\eta)$.



ნახ. 56. განშლის პერიმეტრის გამოსათვლელი გრაფიკი.

$$\eta = \frac{(2H_p - H_0) \sqrt{1+m^2}}{l_p}. \quad (72)$$

სით. შეიჩრევა H_p -ს სავარაუდო $u = f(\eta)$ -ს განსაზღვრისათვის ბუზუნოვი იძლევა გრაფიკს (ნახ. 56).

იმის გამო, რომ η გამოსახულებაში შედის სიღრმე H_0 , რომლის სიდიდე საძიებელია, ამიტომ ამოსნა წარმოებს შერჩევის წმინშვნელობა, გამოითვლება η სიდიდე და გრაფიკით განისაზღვრება u . შემდეგ ფორმულით (71) გამოითვლება C -ს მნიშვნელობა და მისი შესაბამისი H_p (70). ასეთი შერჩევა წარმოებს მანამ, სანამ მისი სავარაუდო მნიშვნელობა არ დაემთხვევა გამოთვლილს.

ანგარიშის გასამარტივებლად ი. ბუზუნოვმა მიიღო $m = 2$, $v_p = 2v_p'$ და გამოთვალა C კოეფიციენტის მნიშვნელობები l_p/H_0 -სთან დამოკიდებულებით ნაგებობაზე ნაკადის სხვადასხვა კუთხით მოქმედების დროს (ცხრილი 12).

ცხრილი 12

შეფარდება l_p/H_0	C-ს მნიშვნელობა სხვადასხვა კუთხის დროს				
	30°	45°	60°	70°	90°
8	2,36	2,68	2,91	3,06	3,11
10	2,41	2,75	2,95	3,11	3,17
12	2,45	2,80	3,00	3,17	3,22
14	2,48	2,84	3,05	3,22	3,27
16	2,51	2,87	3,09	3,27	3,31
18	2,53	2,89	3,13	3,30	3,35
20	2,55	2,91	3,15	3,38	3,38
22	2,77	3,23	3,48	3,69	3,74

გრძივი დაძვებისა და გრძელი დეზებისათვის ფორმულა მარტივდება, რადგან განზღოს პერიმეტრის სიგრძე u შეიძლება მიღებულ იქნეს 1-ის ტოლი, ვინაიდან $\eta = 0$. მაშინ (71) მიიღებს სახეს:

$$C = \frac{1}{\sqrt{1+m^2}} \left[6 \left(\frac{v_p \sin \alpha}{v_p'} \right)^{3/4} + \sin \alpha (m-6) \right] + 1. \quad (73)$$

თუ მივიღებთ, რომ $v_p = 2v_p'$ და $\alpha = 90^\circ$, მაშინ ფორმულა (73) ასე გამოისახება:

$$C = \frac{1}{\sqrt{1+m^2}} [(6 \cdot 2^{3/4} + (m-6))] + 1 = \frac{1}{\sqrt{1+m^2}} [(10,08 + (m-6))] + 1 \quad (74)$$

შე-13 ცხრილში მოცემულია C-ს მნიშვნელობა m -თან დამოკიდებულებით. მაშასადამე, დეზის ფერდობის ფუძის გადიდებისას მცირდება C კოეფიციენტი და აქედან გამომდინარე გარეცხვის სიღრმეც.

ცხრილი 13

m	C	m	C
0	5,08	4	2,96
1	4,60	5	2,78
2	3,71	6	2,66
3	3,24		

ს. ალტუნინი წინადადებას იძლევა ადგილობრივი მაქსიმალური სიღრმის საორიენტაციო მნიშვნელობის გამოსათვლელად ქვიშიანი კალაპოტების შემთხვევაში, როდესაც $m=0$ და $\alpha=90^\circ$, გამოვიყენოთ C კოეფიციენტი, გამოთვლილი Q_1/Q შეფარდების მიხედვით (ცხრილი 14).

ცხრილი 14								
Q_1/Q	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
C	2,0	2,65	3,22	3,45	3,67	3,87	4,06	4,20

აქ Q_1 არის ხარჯი, რომელიც გადის დეზით ან დამბით გადაკეტილი კალაპოტის ზოლზე;

Q — საერთო ხარჯი.

იმ შემთხვევისათვის კი, როდესაც $m \neq 0$ და $\alpha \neq 90^\circ$, ს. ალტუნინი გვიჩვენებს ვისარგებლოთ ფორმულით:

$$H_p = K_a K_m C H_o, \quad (75)$$

სადაც K_a და K_m კოეფიციენტების მნიშვნელობა განისაზღვრება ქვემოთ მოყვანილი ცხრილებიდან, რომლებიც შედგენილია ს. ალტუნინისა და კ. არტამონოვის მიერ ლაბორატორიული ცდების მონაცემების საფუძველზე.

ცხრილი 15					
α	30°	60°	90°	120°	150°
K_a	1,18	1,07	1,0	0,94	0,84

ცხრილი 16						
m	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
K_m	1,0	0,91	0,85	0,83	0,61	0,5

თუ, მაგალითად, $\alpha=120^\circ$ და $m=2$, მაშინ გარეცხვის შედეგად ადგილობრივი მაქსიმალური სიღრმე შემცირდება ამ ორი კოეფიციენტის ნამრავლის სიდიდით $0,94 \cdot 0,61 = 0,57$ -ით და ზემომოყვანილი ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$H_p = 0,57 C H_o. \quad (76)$$

დაბოლოს ეს მიახლოებითი ანგარიში შეიძლება გამოვიყენოთ იმ შემთხვევაში, როდესაც მოპირდაპირე ნაპირი არ ირეცხება (ან გამაგრებულია) და კალაპოტს აქვს მდგრადი სიგანე. წინააღმდეგ შემთხვევაში ძნელია შევიწროებული კალაპოტის სიგანის განსაზღვრა, რომელზეც დამოკიდებულია შევიწროების ხარისხის სიდიდისა Q_1/Q და C კოეფიციენტის განსაზღვრა.

განვიხილოთ მაგალითზე ზემომოყვანილი ფორმულებით დეზის თავთან მაქსიმალური გარეცხვის სიღრმის გამოთვლის შედეგები.

მთის მდინარის კალაპოტის პირობებში, როდესაც ქანობი $I=0,007$, ხარჯი $Q_{max}=650$ მ³/წმ და $d_{ს.ვ}=6$ სმ. ავიღოთ განივი დეზის სიგრძე $l=25$ მ და $\alpha=60^\circ$ (დეზსა და ნაკადის მიმართულებას შორის კუთხე), ფერდობის დაქანება $m=2$. მაშინ დეზის სამუშაო სიგრძე, რომელიც განიცდის ნაკადის დარტყმას (დაჭახებას), ფორმულის (67) მიხედვით იქნება:

$$l_p = \frac{2}{3} l = 17 \text{ მ.}$$

დავუშვათ, რომ გარეცხვა მოხდა მხოლოდ ყველაზე წერილი ნაწილაკების $d < 20$ მმ ფრაქციების. ამისათვის საჭიროა გამრეცხი სიჩქარის სიდიდე ფსკერზე არ აღემატებოდეს $v_p' = 1,2$ მ/წმ, როდესაც $H = 1,0$ მ. ანგარიში ვაწარმოოთ შემთხვევისათვის, როცა $H = 1,18$ მ და $v_p = 2,2$ მ/წმ. თუ ზემომოყვანილ მნიშვნელობებს ჩავსვამთ ფორმულებში (71,72), მივიღებთ:

$$\eta = \frac{2(H_p - 1,18)\sqrt{1+2^2}}{17} = 0,264(H_p - 1,18)$$

და

$$C = \frac{1}{\sqrt{1+2^2}} \left(\frac{2,2 \sin 60^\circ}{1,2u} \right)^{3/4} + \sin 60^\circ \left(2 - 6 \frac{k}{u} \right) + 1 = \\ = \frac{3,78}{u^{3/4}} + 0,388 \left(2 - \frac{6}{u} \right) + 1.$$

ანგარიშს ვაწარმოებთ შერჩევის წესით, ვიღებთ H_p -ს სხვადასხვა მნიშვნელობებს და ამის საფუძველზე η და u მნიშვნელობებს გრაფიკის მიხედვით; ამის შემდეგ C კოეფიციენტს და H_p -ს ფორმულის (70) მიხედვით.

H_p -ს სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს ჩატარებული გამოთვლები და მიღებული შედეგები მოყვანილია მე-17 ცხრილში.

ამრიგად, თუ დავუშვებთ $d < 20$ მმ ფრაქციის გამორეცხვას, მივიღებთ გარეცხვის მაქსიმალურ სიღრმეს 3,42 მ. თუ ნაკადის განშლას მხე-

აღებულია H_p	$H_p - H_0$	$\eta = 0,264 \times$ $\times (H_p - H_0)$	u	$u^{3/4}$	$\frac{3,78}{u^{3/4}}$	C	მიღებულია გამოთვლით H_p
3,0	1,82	0,480	1,645	1,965	2,60	2,96	3,50
3,5	2,37	0,611	1,845	1,580	2,39	2,90	3,42
4,0	2,82	0,743	2,040	1,710	2,27	2,90	3,42
2,0	0,82	0,216	1,265	1,193	3,17	3,10	3,66

დველობაში არ მივიღებთ, ე. ი. $u = 1$, მაშინ მაქსიმალური სიღრმე იქნება:

$$H_p = 1,18 \cdot 3,24 = 3,82 \text{ მ,}$$

ვინაიდან (73) ფორმულის მიხედვით $C = 3,24$.

განვსაზღვროთ აგრეთვე მაქსიმალური სიღრმე დეზის თავთან ფორმულით (75).

მდგრადი ტოტის კალაპოტის სიგანიდან $B = B_{\text{გდგ}} = 37,5 \text{ მ}$ და სიღრმე-თა ტოლობიდან გამომდინარე ნაკადის შევიწროების ხარისხი იქნება $l : B_{\text{გდ}} = 17,0 : 37,5 = 0,46$.

გარეცხვის კოეფიციენტი ასეთი შევიწროებებისას და როდესაც $l : H = 17,0 : 1,18 = 16$, მე-18 ცხრილის მიხედვით ვპოულობთ: $C = 3,09$.

როდესაც მისვლის კუთხე $\alpha = 180^\circ - 60^\circ = 120^\circ$, მე-16 და მე-17 ცხრილის მიხედვით. $K_\alpha = 0,94$ და $K_m = 0,61$; მაშინ გარეცხვის სიღრმე იქნება:

$$H_p = 0,94 \times 0,61 \times 3,09 \times 1,18 = 2,1 \text{ მ,}$$

რაც მნიშვნელოვნად ნაკლებია ფორმულით (70) მიღებულ სიღრმეზე. მრავალი ლაბორატორიული ცდა ჩაატარა კ. არტამონოვმა გარეცხვის მაქსიმალური სიღრმის გამოსარკვევად. ამ მონაცემების ანალიზის შედეგად მან მოგვცა ფორმულა:

$$H_p = (H_0 + AR) K_\alpha, \quad (77)$$

სადაც K_α არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დამბის ლერძის დახრას დინების მიმართულებისადმი;

AR — გარეცხვის სიღრმე ძაბრის ზონაში;

R — ძაბრის ჰიდრავლიკური რადიუსი. იგი განისაზღვრება ფორმულით:

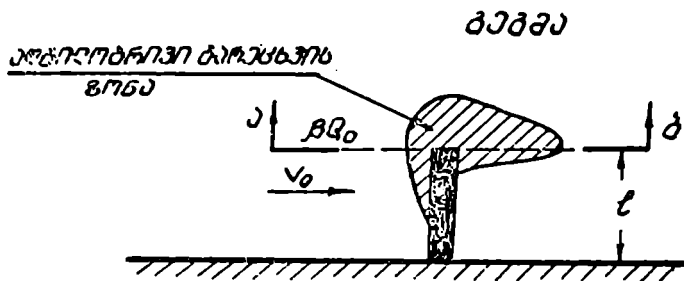
$$R = \frac{C}{\rho^{0,8}} \sqrt{\beta H_0 \rho l}, \quad (78)$$

სადაც v არის საშუალო არაგამრეცი სიჩქარე გრუნტისათვის, რომლისაგანაც შედგება გალაპოტი;

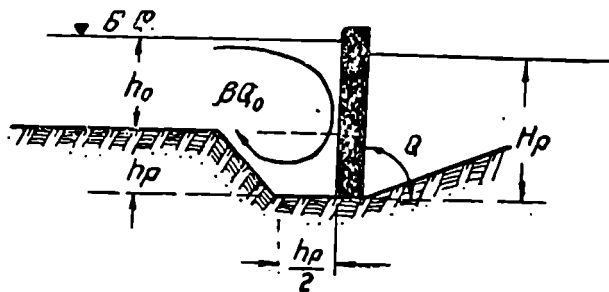
β — საცდელი კოეფიციენტი, რომელიც უჩვენებს წყლის ხარჯის დამბაზე მოხვედრილ ნაწილს (βQ_0), რომლითაც წარმოიქმნება ცირკულაციური დინება. იგი დამოკიდებულია დეზის სიგრძეზე და ვერტიკალური წნევიანი ფერდობების შემთხვევაში შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს გამოსახულებით:

$$\beta = 0,25l^{0,25}; \quad (79)$$

A, C კოეფიციენტებია, რომლებიც დამოკიდებულია დეზის წნევიანი ფერდობის დაქანებასა და შეფარდებაზე $d : D$; ამ კოეფიციენტების მნიშვნელობა კ. არტამონოვის მიერ დადგენილია ცდებით.



ჭრილი ა-ბ



ნახ. 57. დეზის ფუძის გარეცხვის სქემა.

მე-18 ცხრილში მოცემულია C და A კოეფიციენტების მნიშვნელობა $\frac{d}{D}$. შეფარდების და m -ის (ანუ θ) სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს.

ცხრილი 18

გრუნტის შე- მადგენლობა $\psi = \frac{d}{D}$	C და A კოეფიციენტების მნიშვნელობა						
	$m=0$ $\theta = 90^\circ$	0,5 63°	1,0 45°	1,5 33°	2,0 26°	2,5 22°	3,0 16°
1,00	0,227	0,209	0,175	0,143	0,120	0,104	0,091
0,75	0,234	0,214	0,181	0,148	0,123	0,107	0,094
0,50	0,242	0,224	0,188	0,154	0,128	0,112	0,099
0,25	0,261	0,241	0,201	0,164	0,138	0,120	0,104
0,20	0,268	0,246	0,206	0,170	0,141	0,122	0,107
0,15	0,275	0,252	0,212	0,172	0,143	0,125	0,109
0,10	0,288	0,264	0,222	0,180	0,151	0,133	0,115
0,05	0,306	0,284	0,237	0,193	0,162	0,141	0,123
მნიშვნე- ლობა A	4,40	4,02	3,88	3,83	3,83	3,83	3,85

ასე, მაგალითად, როდესაც

$$\frac{d}{D} = 1.$$

მაშინ

$$m=0; \quad A=4,40; \quad C=0,227;$$

$$m=3; \quad A=3,83; \quad C=0,091,$$

ე. ი., რაც უფრო მეტია დეზის წნევიანი ფერდობის დაქანება, მით უფრო ნაკლებია ადგილობრივი გარეცხვის სიღრმე.

d ნატანის ფრაქციების საშუალო დიამეტრია, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$d = \frac{\sum d_i p_i}{100}. \quad (80)$$

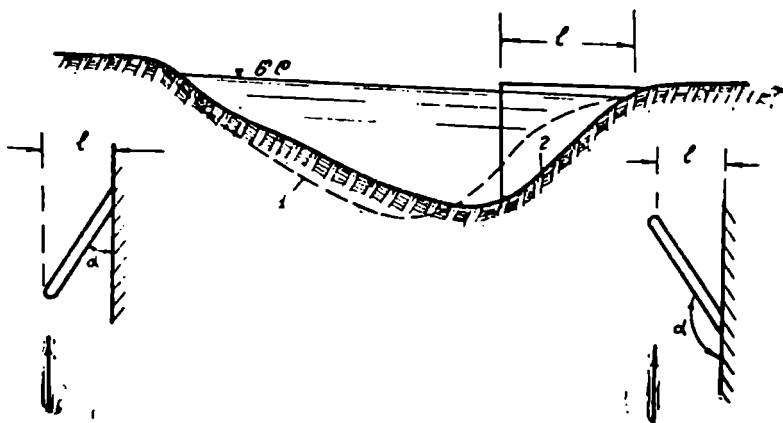
ფორმულაში (77) K_α კოეფიციენტის მნიშვნელობა დამოკიდებულია დეზის დახრილობის α კუთხეზე. დეზის სხვადასხვა დახრილობა სცელის ნაკადის მოქმედების პირობებს, მის სტრუქტურას, რის გამო იცვლება გარეცხვის სიღრმის მნიშვნელობაც, ნაგებობის თავში.

ამ კოეფიციენტის მნიშვნელობა კ. არტამონოვის მიერ მოცემულია შემდეგი ფორმულით:

$$K_\alpha = 0,75 + 0,5 \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{180^\circ} \right). \quad (81)$$

მე-15 ცხრილში მოცემულია $K\alpha$ -ს სიდიდეები α კუთხის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს, რომლებიც უნდა ჩაესვათ ფორმულებში (75) და (77).

ამ ფორმულების ანალიზის შედეგად ირკვევა, რომ, როდესაც დეზების დახრილობა $\alpha > 90^\circ$, მაქსიმალური გარეცხვის სიღრმეები გადაადგილება მდინარის შუაგულისაკენ (ნახ. 58, პუნქტორით) და, მაშასადამე,



ნახ. 58. კალაპოტის დეფორმაცია დეზის მოქმედების ზონაში:
1 — როდესაც α იცვლება $120^\circ - 150^\circ$ -მდე; 2 — როდესაც α იცვლება $30^\circ - 90^\circ$ -მდე.

დეზის მოქმედების პირობები უმჯობესდება. სარწყავ არხებში წყლის უკეთ მიღების მიზნით დეზები ხშირად შენდება $\alpha < 90^\circ$ დახრილობით. ამ შემთხვევაში მდინარის ნაკადი უფრო მეტად ეკვრის დეზს, ძლიერდება ფსკერული ცირკულაცია და გარეცხვის მაქსიმალური სიღრმე წარმოიშვება დეზის თავის ზონაში (ნახ. 58, მთლიანი ხაზი).

ამრიგად, ერთი მხრივ, α კუთხის გაზრდით მცირდება ადგილობრივი გარეცხვის სიღრმეები, მარტივდება დეზის თავის გამაგრების სამუშაოები, მეორე მხრივ, იზრდება დეზების საერთო საგრძე, რაც თავის მხრივ ზრდის სამუშაოთა რაოდენობას. ამის გამო ნაპირსამაგრ ნაგებობათა რაციონალური შეთანწყობის საკითხის დადგენა მოითხოვს გარკვეული ტექნიკურ-ეკონომიური ანგარიშების ჩატარებას.

სანაპირო პირნაკეთობის ძირთან (გრძივი დამბა) გარეცხვის სიდიდის გამოსათვლელად ს. ალტუნინი იძლევა შემდეგ მიახლოებით ფორმულას:

$$H_p = \left(\frac{nv_p}{\sqrt{I}} \right)^3, \quad (82)$$

სადაც n არის კალაპოტის ხაოიანობის კოეფიციენტი ნ. პავლოვსკის მიხედვით;

μ_n — გადამადგილებელი სიჩქარე ნატანის მეტად მსხვილი ფრაქციებისათვის;

I — გრძივი ქანობი.

კ. არტამონოვს შესაძლებლად მიაჩნია გარეცხვის უდიდესი სიღრმის განსაზღვრა გრძივი პირნაკეთობის ძირთან ფორმულის (75) დახმარებით იმ შემთხვევაში, როდესაც კალაპოტის სიგანე ფართოა და ნაკადს შესაძლებლობა აქვს განივი მიმართულებითაც იმოძრაოს და, მაშასადამე, გარკვეული კუთხით იმოქმედოს გრძივ ნაგებობაზე. მაშინ K_n -ს მნიშვნელობა გამოითვლება გრძივ ნაგებობაზე ნაკადის ზემოქმედების კუთხის შესაბამისად და I -ის მნიშვნელობა მიიღება $0,7 \div 0,8B$, სადაც B მდინარის ნაკადის სიგანეა.

5. ნაპირსამაგრი ნაგებობების გამოკვლევის ამოცანები

ნაპირსამაგრი ნაგებობათა დაგეგმარების საქმეში მთავარი ყურადღება უნდა მიექცეს ნაგებობათა ტიპებისა და კონსტრუქციების სწორად შერჩევას, აგრეთვე მათ ეკონომიკურ ეფექტიანობას. ამისათვის საჭიროა კარგად იყოს შესწავლილი მდინარის რეჟიმი, კალაპოტშიგა პროცესების გენეზისი, ნათლად იქნეს გარკვეული ის ამოცანები, რომლის გადაჭრასაც უნდა ემსახუროდეს ნაპირსამაგრი ნაგებობათა კომპლექსი.

მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ კალაპოტშიგა პროცესების სირთულის გამო ყველა მოვლენა საკმარისად შესწავლილი არ არის.

მაგალითად, ადგილობრივი გამორეცხვის საკითხი, რომელიც ერთ-ერთი მთავარი ფაქტორია ნაპირსამაგრი ნაგებობათა კომპლექსის დაგეგმარების საქმეში, ჯერ კიდევ სრულყოფილად არ არის შესწავლილი. სხვადასხვა ავტორთა ფორმულები ერთიმეორისაგან მნიშვნელოვნად განსხვავებულ გამორეცხვის სიდიდეებს იძლევიან; ზოგჯერ ეს სიდიდეები იმდენად შემცირებულია, რომ იწყება ფუძის ინტენსიური გამორეცხვა და ამის შედეგად ნაგებობის წყობიდან გამოსვლა. გამონაკლისს არ წარმოადგენს ისეთი შემთხვევებიც, როდესაც ზოგიერთი ფორმულის გამოყენებით ნაგებობები გეგმარდება ძლიერ დიდი მარაგით, რაც ზრდის მის სამშენებლო ღირებულებას.

არანაკლებ საინტერესოა საკითხი მდინარის კალაპოტში ხელოვნურ ნაგებობათა განლაგების შესახებ. მისი რაციონალური გადაწყვეტა უნდა აკმაყოფილებდეს მოთხოვნას — რაც შეიძლება შემცირებულ იქნეს ადგილობრივი გარეცხვის სიღრმე, ნაკადის ჰაველების ჰიდრაულიკური სტრუქტურის შეცვლის შედეგად. მეტად მნიშვნელოვანია გარეცხვის ზონისა და

შესაძლო სიღრმეების დადგენა ნაგებობის ირგვლივ, რადგან ამ მონაცემებზე და მოკიდებული საჭირო ღონისძიებათა სწორად დასახვა.

ყველა ეს საკითხი მოითხოვს გულდასმით შესწავლას ლაბორატორიული ცდებისა და განხორციელებულ ნაგებობათა მუშაობის ანალიზის საფუძველზე.

ა. ბიღროტექნიკურ ნაგებობათა ძირის გამორეცხვის თეორიული საფუძვლები

ყოველი ნაკადის მოძრაობა შეიძლება იყოს თანაბარი და სწორხაზოვანი, თუ მასზე არ მოქმედებს არაერთგვაროვანი ძალები; სხვანაირად რომ ვთქვათ, თუ ის მოძრაობის დროს არ განიცდის წინააღმდეგობას კალაპოტის ან მასში მოთავსებული ნაგებობის მხრივ. მაგრამ ასეთი მოძრაობა სინამდვილეში არ არსებობს, რადგან მდინარეში ან არხებში ნაკადი მოძრაობის დროს იძულებულია დაემორჩილოს კალაპოტის ფორმას, ხელოვნური ნაგებობის მხრივ განიცადოს სხვადასხვაგვარი წინააღმდეგობანი და დაამყაროს მათთან შესაბამისი ურთიერთქმედება. ამ რთული პროცესის შესწავლისათვის გარდა თეორიული გამოკვლევებისა საჭიროა ლაბორატორიული ცდების წარმოება, პირველ რიგში იმ მოვლენების შესასწავლად, რომლებიც წარმოიშობა კალაპოტში ნაკადისა და ზღუდარის ურთიერთქმედების შედეგად.

მრავალი მკვლევარის შრომები მიეძღვნა ზღუდარზე ნაკადის გარშემოღინების საკითხის შესწავლას (ა. მილოვიჩი, ნ. ჟუკოვსკი, ს. ალტუნინი, ვ. გონჩაროვი, ო. ანდრეევი და სხვ.). მათ მიერ განხილულ იქნა მთელი რიგი ისეთი საკითხებისა, როგორცაა სიჩქარეებისა და წნევების განაწილება ზღუდარზე, გარეცხვის სიღრმეებისა და ნაკადის გარშემოღინების კონტურის დადგენა და სხვა.

ამ მხრივ ღირსშესანიშნავი თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები აქვს ჩატარებული ა. მილოვიჩს. მან რეალური დასაბუთება მისცა ე. წ. წყაროების სისტემების (системы источников) წარმოშობას ნაკადის ზღუდარზე დაჯახების დროს [29].

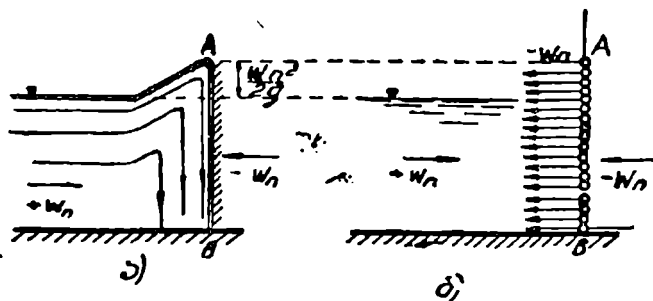
როდესაც ნაკადი ეჯახება მასში მოთავსებულ ზღუდარს გარკვეული

s_0 სიჩქარით, ამ უბანზე აღგილი აქვს პორიზონტის აწევას $\frac{s_0^2}{2g}$ სიდიდით.

ეს მოვლენა, როგორც ა. მილოვიჩი განმარტავს, თავისი მოქმედებით ისეთივეა, როგორც ზღუდარის დაჯახება უძრავ სითხეზე საწინააღმდეგო მიმართულებების s_0 სიჩქარით, რის შედეგადაც ხდება სითხის უკუგდება. უკუგდების ეს პროცესი შეიძლება წარმოვიდგინოთ ისე, თითქოს ამ მყარი ზღუდარის ზედაპირის ყველა წერტილიდან ხდება სითხის ამოხეთქვა

(выбрасывание жидкости), თითქოს ყველა ამ წერტილში გვაქვს წყარო-წერტილები.

ამრიგად, მდინარის ნაკადის ზღუდარზე მიწყდომის დროს წარმოიშევა წყაროების სისტემები, რომლებიც იწვევენ წყლის ჰორიზონტის აწევას



ნახ. 59. ნაკადის მოქმედება ნაპირის ზღუდარზე.

და, მამასადამე, წნევის გაზრდას $\frac{v_0^2}{2g}$ სიღიღით. ამის შედეგად ზღუდარის წინ წარმოიშევა ჰაერების მოძრაობა ზევიდან ქვევით, ზედაპირიდან ძირამდე, რაც დასაბამს აძლევს განივი ცირკულაციის წარმოშობას (ნახ. 59).

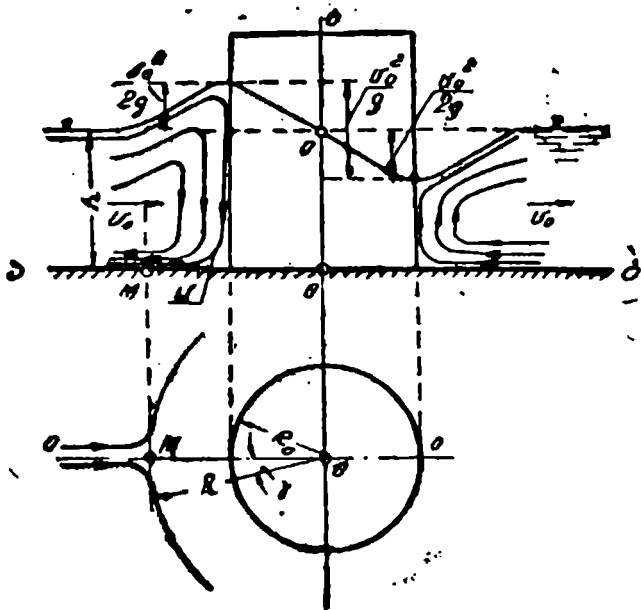
ა. მილოვიჩის მიერ განხილულ იქნა ნაკადის ზემოქმედება ცილინდრულ ზღუდარზე, რომლის ფუძის რადიუსი R_0 -ის ტოლია (ნახ. 60). ნაკადი, რომელიც ცილინდრს s_0 სიჩქარით ეჯახება, შექმნის შეტბორვას ზედა მხრიდან $\frac{v_0^2}{2g}$ სიღიღით, ქვედა მხრიდან კი ჰორიზონტის დაწევას იმავე

$\frac{v_0^2}{2g}$ სიღიღით. ამრიგად, ქვედა და ზედა ჰორიზონტების სხვაობის მოქმედებით ცილინდრულ ზღუდარზე წარმოიშევა წნევა, რომლიც სიღიღე განსაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\frac{v_0^2}{2g} - \left(-\frac{v_0^2}{2g} \right) = 2 \frac{v_0^2}{2g} = \frac{v_0^2}{g}.$$

$\frac{v^2}{g}$ ფრულის კრიტერიუმის გამოსახულებაა, რომელიც განსაზღვრავს სხეულზე ინერციის ძალის მოქმედებას. თუ მას წარმოვიდგენთ $\frac{v^2}{g} = h$

ან $v = \sqrt{gh}$ სახით, მაშინ დავინახავთ, რომ v არის h სიღრმის მქონე ნაკა-



ნახ. 60. ნაკადის მოქმედება ზღუდარზე სხვადასხვა კუთხის დროს.

დის ტალღების გავრცელების სიჩქარე. ცილინდრის წინ შექმნილი შეტბორვა ზრდის წნევას, რომელიც იწვევს ნაკადის ტალღისებურ მოძრაობას, ეს უკანასკნელი კი ჭავლების დინებას ზევიდას ქვევით; შემდეგ ეს ჭავლები ფუძის სიბრტყეში მიიმართება ზევით, ნაკადის შემხვედრი მიმართულებით. ჭავლების ეს მოძრაობა წარმოებს $v = \sqrt{gh}$ სიჩქარით, რომელიც ნაკადის v_0 სიჩქარის საწინააღმდეგო მიმართულებისაა. თუ ეს ასეა, მაშინ უნდა არსებობდეს ისეთი M წერტილი, სადაც ეს ორი სიჩქარე ერთმანეთს უტოლდება. ეს იმას ნიშნავს, რომ ცილინდრის ფუძის ამ წერტილში ვარეცხვა უნდა შეწყდეს. ამ წერტილის მდებარეობის განსაზღვრისათვის ა. მილოვიჩმა გამოიყენა ცილინდრის ზედაპირზე სითხის გარშემოღინების თეორია.

ამ თეორიის საფუძველზე სითხის ყოველ ნაწილაკზე რადიალური და მხები სიჩქარის სიდიდე გამოისახება შემდეგი დამოკიდებულებით;

$$\left. \begin{aligned} v_r &= v \cos \gamma \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 - v_0 \cos \gamma, \\ v_n &= v \sin \gamma \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 + v_0 \sin \gamma; \end{aligned} \right\} \quad (83)$$

სადაც v ტალღის გავრცელების სიჩქარეა;

v_0 — ნაკადის დაჯახების სიჩქარე;

R და γ — გამსახილველი წერტილის პოლარული კოორდინატები. აქედან გამომდინარე, სითხის ღენის (ТОК ЖИДКОСТИ) დიფერენციალური განტოლება ცილინდრის ძირთან

$$\frac{dR}{v_r} = \frac{R d\gamma}{v_n}$$

დაიწერება შემდეგი სახით:

$$\frac{dR}{v \cos \gamma \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 - v_0 \cos \gamma} = \frac{R d\gamma}{v \sin \gamma \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 + v_0 \sin \gamma},$$

ან

$$\left[v \sin \gamma \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 + v_0 \sin \gamma \right] dR = R \left[v \cos \gamma \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 - v_0 \cos \gamma \right] d\gamma,$$

ან

$$v R_0^2 \left[\sin \gamma \frac{dR}{R^2} - \frac{1}{R} \cos \gamma d\gamma \right] + v_0 [\sin \gamma dR + R \cos \gamma d\gamma] = 0. \quad (84)$$

მაგრამ

$$\sin \gamma \frac{dR}{R^2} - \frac{1}{R} \cos \gamma d\gamma = -d \frac{\sin \gamma}{R},$$

$$\sin \gamma dR + R \cos \gamma d\gamma = dR \sin \gamma,$$

ამიტომ უკანასკნელი გამოსახულება შეიძლება შემდეგი სახით დაიწეროს:

$$-v R_0^2 d \frac{\sin \gamma}{R} + v_0 dR \sin \gamma = 0,$$

რომლის ინტეგრაციის შემდეგ მივიღებთ:

$$v R_0^2 \frac{\sin \gamma}{R} - v_0 R \sin \gamma = C,$$

სადაც C ინტეგრაციის მუდმივაა.

ცილინდრის ღერძის სიბრტყეში $\gamma=0$, $\sin \gamma=0$ $C=0$, მაშინ ამ სიბრტყისათვის მივიღებთ განტოლებას:

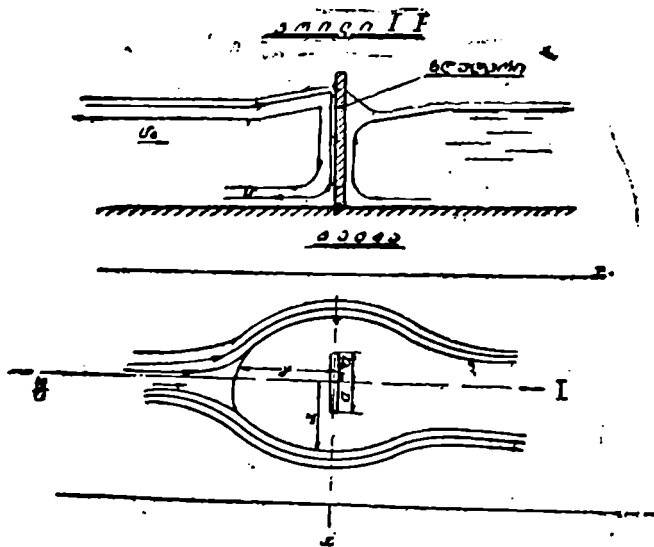
$$v R_0^2 = v_0 R^2,$$

$$R = R_0 \sqrt{\frac{v}{v_0}} \quad (85)$$

მაშასადამე, ნულოვანი სიჩქარის ის წერტილი, რომელიც ორი ერთი-მეორის საწინააღმდეგო დინების გამყოფს წარმოადგენს, მოთავსებულია ცილინდრის ღერძიდან $R_0 \cdot \sqrt{\frac{v}{v_0}}$ მანძილზე.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე ა. მილოვიჩი აკეთებს დასკვნას, რომ ზღუდარის ფუძის გარეცხვის საიდუმლოება ნაკადის დაჯახების შედეგად ტალღის წარმოშობაში მდგომარეობს. ეს ტალღა ზღუდარის ვერტიკალური სიბრტყისა და შემდეგ მისი ფუძის გასწვრივ მოძრაობს სიჩქარით, რომლის სიდიდე მნიშვნელოვნად აღემატება ნაკადის დინების სიჩქარეს.

ა. მილოვიჩის მიერ შესწავლილ იქნა აგრეთვე ნაკადის გარშემოწინების პროცესი ბრტყელ ზღუდარებზე (ნახ. 61). მის მიერ დამუშავებული სხე-



ნახ. 61. ნაკადის მოქმედება ბრტყელ ზღუდარზე.

ულისა და სითხის დინამიკური ურთიერთქმედების თეორიის საფუძველზე სითხის ნაწილაკების სიჩქარეები xx და yy ღერძების მიმართულებით გამოისახება შემდეგი ფორმულით:

$$\left. \begin{aligned} v_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x} &= C \left(\frac{y}{z_2^2} - \frac{y}{z_1^2} \right) = C \left[\frac{y}{y^2 + (a-x)^2} - \frac{y}{y^2 + (a+x)^2} \right]; \\ v_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y} &= C \left(\frac{a+x}{r_1^2} + \frac{a-x}{r_2^2} \right) - v_0 = \\ &= C \left[\frac{a+x}{y^2 + (a+x)^2} + \frac{a-x}{y^2 + (a-x)^2} \right] - v_0; \end{aligned} \right\} (86)$$

ფსკერული დინების გამოსახულება კი შემდეგი სახით დაიწერება:

$$C \ln \frac{r_1}{r_2} - v_0 x = D = \text{const}, \quad (87)$$

სადაც C წყაროების მუდმივი დაძაბვაა;

a — ზღუდარის ნახევარი სიგანე;

r_1 და r_2 — მანძილი ნებისმიერი წერტილიდან (m) ზღუდარის გვერდების წერტილებამდე.

C სიდიდის გამოსათვლელად ა. მილოვიჩი ფუძეზე განიხილავს M წერტილს, სადაც სიჩქარე ნულის ტოლია, ე. ი. წარმოადგენს ორი სხვადასხვა მიმართულების მოძრაობის ზღვარს. გაუტოლა რა სიჩქარეები ნულს, მან მიიღო, რომ $v_x = 0$, როდესაც $x = 0$ და $r_1 = r_2$, ე. ი. ყველა წერტილისათვის, რომლებიც yy ღერძზე არიან მოთავსებული.

იმ შემთხვევისათვის, როდესაც $x = 0$, სიჩქარის მეორე შემადგენლის (v_y) მნიშვნელობა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$v_y = \frac{2aC}{y^2 + a^2} - v_0 = 0.$$

ამ გამოსახულებაში v_0 არის ნაკადის საშუალო სიჩქარე, რომლითაც იგი

ზღუდარს ეჯახება. მეორე წევრი კი $\frac{2aC}{y^2 + a^2}$ უნდა გამოსახავდეს ზღუ-

დარზე დაჯახების შედეგად წარმოშობილ საწინააღმდეგო მიმართულების მქონე სიჩქარეს. ზღუდარის სიბრტყეში, როდესაც $y = 0$, ამ სიჩქარის მნი-

შვნელობა $\frac{2C}{a}$ -ის ტოლი იქნება. ამის შემდეგ ა. მილოვიჩი უშვებს, რომ

$\frac{2C}{a}$ ტოლი უნდა იყოს ტალღური მოძრაობის სიჩქარის, ე. ი.

$$\frac{2C}{a} = v = \sqrt{gh},$$

საიდანაც

$$C = \frac{a}{2} v.$$

ჩასვა რა ეს მნიშვნელობა v_y -ის გამოსახულებაში, მან მიიღო განტოლება

$$va^2 = (y^2 + a^2) v_0,$$

საიდანაც

$$y = a \sqrt{\frac{v}{v_0} - 1}. \quad (88)$$

ამის შემდეგ ა. მილოვიჩი უშვებს, რომ ეს წერტილი მოთავსებული უნდა იყოს ფსკერული დინების ზღვარზე, რის გამოც განტოლებაში (87) D ნულის ტოლი უნდა იყოს. მაშინ ეს განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$C \ln \frac{r_1}{r_2} - v_0 x = 0.$$

თუ განტოლებაში შევიტანთ C -ს მნიშვნელობას და განტოლების ორივე მხარეს გავყოფთ v_0 სიდიდეზე, მივიღებთ:

$$\frac{a}{2} \frac{v}{v_0} \ln \frac{r_1}{r_2} - x = 0. \quad (89)$$

ზღვრული დინების x -ის ღერძთან გადაკვეთის წერტილის აბსცისა, რომლისთვისაც $y = 0$, გამოითვლება შემდეგი გამოსახულებით:

$$\frac{a}{2} \frac{v}{v_0} \ln \frac{x+a}{x-a} - x = 0. \quad (90)$$

ზემოაღნიშნულის საფუძველზე ა. მილოვიჩი აკეთებს დასკვნას, რომ ჰიდროტექნიკური ნაგებობების, აგრეთვე არხებისა და მდინარეების ნაპირების ძირის გამორეცხვის პროცესი ნაკადის დინების დაჭაბების შედეგია.

ყველა ასეთ შემთხვევაში ადგილი აქვს ადგილობრივი ხასიათის შეტბორვის წარმოშობას, რომელიც თავის მხრივ განაპირობებს ზედაპირული ტალღების შექმნას; ეს უკანასკნელი იწვევს დაღმავალი დენების ჩასახვას ზღუდართან, ტალღის გავრცელების სიჩქარით, რომლის სიდიდე გაცილებით მეტია, ვიდრე ნაკადის დაჭაბების სიჩქარე. ამიტომ იგი იწვევს ძირის ინტენსიურ გამორეცხვას.

ამ დიდი სიჩქარით მოძრავი დაღმავალი დენების აქტიური ფენა დიდი

ზისქის არ არის, რის გამოც მასზე დაკვირვების ჩატარება ჰიდრომეტრიის ჩვეულებრივი ხერხებით მეტად ძნელია. ეს აქტიური ფენა ფუძეზე იცვლის რა მიმართულებას, ეჭახება ძირს და იწვევს ორმოსებურ გარეცხვებს.

კოორდინატებით გამოთვლილი ნულოვანი სიჩქარის წერტილები იძლევა გარეცხვის კონტურის საზღვრებს და, მაშასადამე, გამაგრების ზონას.

ა. მილოვიჩის გამოკვლევებს. დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, მაგრამ მის მიერ მოცემული ფორმულები ნაკადის გარშემოწინების კონტურის დასადგენად სრულყოფილი არ არის და მოითხოვენ ზოგიერთი შესწორების შეტანას. ამას ადასტურებს შემდგომი ექსპერიმენტული მასალები, რომლის შესახებ ქვევით გვექნება ლაპარაკი.

უნდა ითქვას, რომ თვით ა. მილოვიჩიც აღნიშნავდა, რომ მისი გამოკვლევებით დადგენალ იქნა ადგილობრივი გარეცხვის თეორიის ძირითადი საფუძველი სხეულების და სითხეების დინამიკური ურთიერთმოქმედების პრინციპებიდან. იგი თვითონვე გრძნობდა ამ თეორიის შემდგომი სრულყოფის საჭიროებას სხვადასხვა ხასიათის გარეცხვებზე ჩატარებულ ექსპერიმენტებით მიღებული შედეგების საფუძველზე.

ამ რთული ხასიათის ჰიდროდინამიკური პროცესის შესწავლისათვის დიდი საკვლევი სამუშაოები იქნა ჩატარებული საბჭოთა კავშირის სხვადასხვა ინსტიტუტებში, კერძოდ საქართველოს ინსტიტუტებში.

ქვემოთ მოგყავს ამ ლაბორატორიული გამოკვლევების ზოგიერთი შედეგი.

ბ. ზღუდარებზე ნაკადის მოქმედების ლაბორატორიული გამოკვლევების შედეგები

საქართველოს ჰიდროტექნიკისა და მელიორაციის სამეცნიერო-საკვლევი ინსტიტუტის ჰიდროტექნიკურ ლაბორატორიაში მრავალი წლის მანძილზე სპეციალური გამოკვლევები ტარდებოდა როგორც ბრტყელი, ისე ცალინდრული ფორმის ზღუდარებზე სხვადასხვა ჰიდრაულიკური რეჟიმის შემთხვევებში. ამ მასალების დამუშავების შედეგად ერთგვარი კორექტირება იქნა შეტანილი ზღუდარის გარშემოწინების კონტურის განსაზღვრის საკითხში. ასე, მაგალითად, ა. მილოვიჩის მიერ მოცემულ ფორმულაში (88) y -ის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ზღუდარის სიგანეზე ($A = 2a$), ტალღა გავრცელების სიჩქარესა (v) და ნაკადის საშუალო სიჩქარეზე (v_0). თავის მხრივ ტალღის გავრცელების სიჩქარე ($v = \sqrt{gh}$) წარმოდგენილია როგორც ნაკადის h სიღრმის ფუნქცია. ამრიგად, რაც უფრო მეტია ამ უკანასკნელის მნიშვნელობა, მით უფრო მეტი უნდა იყოს y პარამეტრის მნიშვნელობაც. მეორე მხრივ, ნაკადის საშუალო სიჩქარის შე-

მცირეა იწვევს y -ის ზრდას. ინსტიტუტში ჩატარებული ცდების შედეგები არ აღატურებს ამ აზრს. მიღებულ იქნა დამოკიდებულება შემდეგი სახით:

$$y = a \sqrt{\frac{2g \Delta h}{v_{\text{ფ}}^2} - 1},$$

სადაც $\sqrt{2g \Delta h}$ არის ზღუდარის მიერ უკუგდებული ნაკადის ფსკერული სიჩქარის ანარეკლი. იგი ძირითადად დამოკიდებულია ზღუდარის მიერ შექმნილ შეტბორვის სიდიდეზე:

$$\Delta h = k \frac{v_{\text{საშ}}^2}{2g}.$$

k კოეფიციენტი არის A და n სიდიდეების ფუნქცია. მაშინ ზემოაღნიშნული დამოკიდებულება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$y = a \sqrt{\frac{\bar{v}_{\text{ფ}}}{v_{\text{ფ}}} - 1} = a \sqrt{\frac{\sqrt{k} v_{\text{საშ}}}{v_{\text{ფ}}} - 1}; \quad (91)$$

$$\frac{a}{2} \cdot \frac{\sqrt{k} v_{\text{საშ}}}{v_{\text{ფ}}} \ln \frac{x+a}{x-a} - x = 0. \quad (92)$$

მაშასადამე, y პარამეტრი A და n სიდიდეების გარდა დამოკიდებულია აგრეთვე პორიზონტის ვარდნის სიდიდეზე, რომელიც ზღუდარის მიერ შექმნილი შეტბორვითაა გამოწვეული.

ქვემოთ მოკვავს ინსტიტუტის მიერ დადგენილი ნაკადისა და ზღუდარის ურთიერთქმედების ზოგიერთი დამოკიდებულება.

ცილინდრულ ზღუდარზე ჩატარებული ლაბორატორიული ცდების საფუძველზე დადგენილ იქნა, რომ გარშემოწინების კონტური დამოკიდებულია ცილინდრის დიამეტრზე (D), კალაპოტის შევიწროების კოეფიციენტიზე

($n = \frac{D}{B}$, სადაც B კალაპოტის სიგანეა), ნაკადის სიღრმესა და სიჩქარეზე. ამასთან ერთად გამორკვეულ იქნა, რომ ნაკადის სიღრმის გავლენა იწყება დაახლოებით მაშინ, როდესაც $\frac{H}{D} > 1$.

ნაკადის გარშემოწინების კონტურის პარამეტრების გამოსათვლელად მოცემულია შემდეგი სახის ფორმულები:

იმ შემთხვევისათვის, როდესაც $\frac{H}{D} > 1$,

$$x_v = C_x D \left(1 - k_x \sqrt{n} - m_x \frac{v - v_0}{v_0} \right), \quad (93)$$

$$y_v = 0, 2D + x_v.$$

როდესაც $\frac{H}{D} < 1,$

$$x_v = C_x D \left(\frac{H}{D} \right)^z \left(1 - k_x \sqrt{n} - m_x \frac{v - v_0}{v_0} \right), \quad (94)$$

$$y_v = 0, 2D + x_v.$$

ამ ფორმულებში შემავალი კოეფიციენტების C_x, k_x, m_x და z მნიშვნელობები ექსპერიმენტითაა დადგენილი და განისაზღვრება შემდეგი სიდიდებით:

$$C_x = 1,6; \quad k_x = 0,85 - 0,75; \quad m_x = 0,013 \quad \text{და} \quad z = 0,064.$$

მე-19 ცხრილში მოყვანილია ლაბორატორიული ცდებით მიღებული შედეგები და შედარებულია იმ მონაცემებთან, რომლებიც ფორმულებით არის მიღებული.

ც ხ რ ი ლ ი 19

№ რიგ.	ცდების №	D სმ	B სმ	n	H სმ	სსაშ სმ/წმ	პარამეტრების მნიშვნელობები				მიღების ფორმული
							ფორმულით		ცდებით		
							x_v	y_v	x_v	y_v	
1	2	1,83	20,5	0,09	1	1,65	2,13	2,55	1,9	2,1	3,86
2	32	1,83	20,5	0,09	7	1,65	2,18	2,55	2,4	3,16	6,40
3	8	7,3	20,5	0,356	2	1,65	5,53	6,99	6,8	8,3	18,5
4	69	7,3	20,5	0,356	12	1,65	5,71	7,17	7,2	8,9	29,4
5	223	10,0	20,5	0,488	3	1,65	6,06	8,06	7,7	10,8	28,3
6	26	10,0	20,5	0,488	6	1,65	6,26	8,26	8,0	11,2	35,0
7	87	10,0	20,5	0,488	16	1,65	6,26	8,26	8,2	11,6	43,3
8	142	11,9	56,0	0,213	16	13	11,3	13,68	10,9	12,6	9,3
9	147	11,9	56,0	0,213	5	13	11,6	13,68	11,2	13,0	12,5
10	224	11,9	56,0	0,213	15	13	11,6	13,68	11,2	13,3	17,3
11	141	15,0	56,0	0,213	15	13	12,40	15,40	11,25	14,6	11,7
12	148	15,0	56,0	0,268	5	13	13,20	16,20	14,0	15,8	15,7
13	225	15,0	56,0	0,268	20	13	13,45	16,45	14,3	16,0	18,3
14	226	20,0	56,0	0,358	5	10	15,90	19,40	16,0	19,0	24,4
15	161	20,0	56,0	0,358	10	10	16,60	20,60	16,3	20,3	29,5
16	158	20,0	56,0	0,358	40	10	16,60	20,60	16,25	20,6	38,4

როგორც მე-19 ცხრილში მოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს, ა. მილოვიჩის ფორმულით გამოთვლილი პარამეტრი დიდად განსხვავდება ცდების შედეგად მიღებული პარამეტრის მნიშვნელობისაგან. ამის მიზეზი ის არის, რომ მის ფორმულაში არ მონაწილეობს ნაკადის შევიწროების კოეფიციენტი n .

თუ ნაკადში ორი ცილინდრული ზღუდარია მოთავსებული ერთ განივ სიბრტყეში, მაშინ მათი გარშემოწინების კონტური დამოკიდებულია ცილინდრის ღერძებშორის მანძილზე. ასე, მაგალითად, თუ ცილინდრის ღერძებშორის მანძილს l -ით აღვნიშნავთ, მაშინ იმ შემთხვევისათვის, როდესაც $l > 2x$, თვითუღ ცილინდრს თავისი დამოუკიდებელი გარშემოწინების კონტური ექნება. პირიქით, როდესაც $l < 2x$, ორივე ცილინდრული ზღუდარი საერთო გარშემოწინების კონტურით იქნება შემოფარგლული. ინსტიტუტის მიერ ჩატარებულ იქნა მრავალი ცდა ბრტყელ ზღუდარებზე, რომელთა ზოგიერთი შედეგი მოყვანილია ქვემოთ [28].

გარშემოწინება განივ ნაკადში სიმეტრიულად განლაგებულ ზღუდარზე

ზღუდარის სიგანის (A) შეფარდება ნაკადის მთლიან სიგანესთან (B) განსაზღვრავს ნაკადის შევიწროების კოეფიციენტს, რომელსაც დიდი მნიშვნელობა აქვს გარშემოწინების კონტურის ხასიათის დასადგენად.

როდესაც $n = \frac{A}{B} = \frac{2a}{B} \leq 1/20$, x და y პარამეტრები სწორხაზოვნად იცვლება ზღუდარის სიგანის (A) სიდიდის მიმართ. მათი მაქსიმალური მნიშვნელობები გამოითვლება შემდეგი მარტივი დამოკიდებულებებიდან:

$$x_{\max} = C_x A = 2A; \quad y_{\max} = C_y A = 1,6. \quad (93)$$

ახდენს თუ არა გავლენას პარამეტრის მნიშვნელობაზე ნაკადის სიღრმე კალაპოტში? ცდების საშუალებით დადგინდა, რომ თუ $n \leq 1/20$ და $\frac{H}{A} > 1$, მაშინ სიღრმის ცვლილება არ მოქმედებს x -ისა და y -ის მნიშვნელობებზე, რადგან ამ შემთხვევაში ნაკადის საშუალო სიჩქარის ცვლილება უმნიშვნელოა.

როდესაც $n > 0,05$, x -ისა და y -ის პარამეტრების მნიშვნელობაზე გავლენას ახდენს ნაკადის შევიწროების კოეფიციენტი (n) და მათი ცვლილება ხდება პარაბოლური დამოკიდებულებით:

$$\left. \begin{aligned} x &= C_x A(1 - K_x \sqrt{n}) ; \\ y &= C_y A(1 - K_y \sqrt{n}) ; \\ x - a &= A[C_x(1 - K_x \sqrt{n}) - 0,5]. \end{aligned} \right\} (95)$$

ცდების შედეგების მიხედვით დადგენილია მათი პრაქტიკული მნიშვნელობები:

$$\begin{aligned} K_x &= 0.66 \div 0.85; \\ K_y &= 0.67 \div 0.95. \end{aligned}$$

გარშემოწოდების კონტურის ხასიათი იცვლება ზღუდარის სიგანის ზრდასთან დაკავშირებით და მისი წრიული ფორმა თანდათან გადადის ნახევრად ელიფსურში. ამასთანავე y -ის მნიშვნელობა გააცილებით ნელა

ც ხ რ ი ლ ი 20

ნაკადის ხილრმის (H) ცვლილების გავლენა x და y პარამეტრებზე,

$$\text{როდესაც } n < \frac{1}{20}$$

№ რიგ.	H სმ	$A=3$ სმ $B=300$ სმ		$A=6$ სმ $B=300$ სმ		$A=10$ სმ $B=300$ სმ		შენიშვნები
		x	y	x	y	x	y	
		სმ	სმ	სმ	სმ	სმ	სმ	
1	5	5,5	5,0	10,2	8,0	17,5	15,0	A —ზღუდარის სიგანე B —ლარის სიგანე
2	10	5,2	4,5	11,0	8,5	18,5	16,0	
3	15	5,0	4,5	10,5	8,5	18,5	15,5	
4	20	5,5	4,6	10,8	9,0	19,0	15,0	
5	30	5,5	4,5	11,0	9,2	18,8	14,5	
6	40	5,8	4,6	10,5	8,5	18,2	14,8	
7	50	5,5	4,5	10,8	9,0	18,5	15,0	
8	60	5,6	4,6	11,0	9,2	18,5	15,0	
9	70	5,8	4,6	10,8	9,0	18,4	15,2	
10	80	5,5	4,5	11,0	9,2	18,5	15,8	
საშუალო		5,5	4,6	10,8	8,8	18,5	15,2	
თეორიული გამონვა- რიშებით		6,0	4,8	12,0	9,6	20,0	16,0	

იზრდება, ვიდრე, x -ის. მაქსიმალურ მნიშვნელობას x აღწევს მაშინ, რო-

$$\text{დესაც } \frac{A}{B} = 0,44; \text{ სახელდობრ, } x - a = (0,15 \div 0,20)B.$$

ნაკადის სიჩქარის ცვლილება გავლენას ახდენს ზღუდარის გარშემოწოდების კონტურზე.

ცდების შედეგების საფუძველზე დადგინდა, რომ ზღუდარზე მიჯახებული ნაკადის სიჩქარე იწვევს x და y პარამეტრების შემცირებას სწორხაზოვანი დამოკიდებულებით.

მათი მნიშვნელობები გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} x &= C_x A \left[1 - K_x \sqrt{n} - m_x \frac{v - v_0}{v_0} \right]; \\ y &= C_y A \left[1 - K_y \sqrt{n} - m_y \frac{v - v_0}{v_0} \right], \end{aligned} \right\} \quad (96)$$

სადაც $m_x = m_y = 0,013$ სიჩქარის კოეფიციენტი, $v_0 = 15$ სმ/წმ.

თუ კალაპოტის შევიწროების კოეფიციენტი $n \leq 0,5$, მაშინ x -ისა და y -ის გამოსათვლელად შეიძლება ვისარგებლოთ შემდეგი გამოსახულებით:

$$\left. \begin{aligned} x &= 2A(1 - 0,85\sqrt{n}); \\ y &= 1,6(1 - 0,95\sqrt{n}). \end{aligned} \right\} \quad (97)$$

n კოეფიციენტის უფრო დიდი მნიშვნელობისათვის გარშემოწინების კონტურის დასადგენად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ფორმულები:

$$\left. \begin{aligned} x &= 1,52A(1 - 0,67\sqrt{n}); \\ x &= 2A(1 - 0,75\sqrt{n}); \\ y &= 1,6A(1 - 0,75\sqrt{n}). \end{aligned} \right\} \quad (98)$$

შემთხვევა, როდესაც ზღუდარი არასიმეტრიულადაა განლაგებული ნაკადში

ზღუდარის ნაკადის ცენტრიდან გადაადგილების დროს გარშემოწინების კონტურის სიმეტრიულობა ზღუდარის მიმართ არ ირღვევა მანამ, სანამ კალაპოტის შევიწროვების კოეფიციენტი თვითოეული ნაწილისათვის $1/20$

ნაკლები რჩება, ე. ი. თუ $n_1 = \frac{A}{B_1} < 0,05$ და $n_2 = \frac{a}{B_2} < 0,05$. როდესაც ეს პირობა დაცული არ არის, ე. ი. $n_1 > 0,05$, $n_2 < 0,05$, მაშინ გარშემოწინების კონტურის სიმეტრიულობა ირღვევა და x_1 და x_2 ერთნაირი სიდიდის აღარ არის. ასეთ შემთხვევაში მათი მნიშვნელობები გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= C_x A(1 - K_x \sqrt{n_1}); \\ x_2 &= C_x A(1 + K_x \sqrt{n_1}); \end{aligned} \right\} \quad (90)$$

$$\Sigma x = x_1 + x_2 = 2C_x A. \quad (100)$$

იმ შემთხვევაში კი, როდესაც კალაპოტის შევიწროვების კოეფიციენტები n_1 და $n_2 > 0,05$, ზღუდარის მკირე გადაადგილება ნაკადის ცენტრიდან იწვევს გარშემოდინების კონტურის სიმეტრიულობის მკვეთრ დარღვევას და გვექნება:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= C_x A \left(1 - K_x \sqrt{n_1} - \frac{v - v_0}{v_0} \right); \\ x_2 &= C_x A \left(1 + K_x \sqrt{n_1} - 2k_x \sqrt{n} - m_x \frac{v - v_0}{v_0} \right). \end{aligned} \right\} \quad (101)$$

შემთხვევა, როდესაც ზღუდარი მიყრდნობილია ერთ-ერთ ნაპირზე უკანასკნელის მართობულად

ამ დროს ადგილი აქვს ნაკადის ცალმხრივ გარშემოდინებას და იგი შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც არასიმეტრიული გარშემოდინების ზღვარი, ე. ი. როცა $n_1 = 1$ და $n_2 = \frac{a}{b}$, მაშინ პარამეტრების მნიშვნელობა განისაზღვრება:

$$\left. \begin{aligned} x_6 &= 2x; \\ y_6 &= 2y. \end{aligned} \right\} \quad (102)$$

ცხრილი 21

x -ის მნიშვნელობა, გამოთვლილი ფორმულებით და ცდებით, როდესაც $A = \text{const}$

№ რიგ.	A სმ	B სმ	n	x სმ			ცდებით	შენიშვნა.
				$1,52 A \left(1 - 0,67 \sqrt{n} \right)$	$2A \left(1 - 0,75 \sqrt{n} \right)$	$2A \left(1 - 0,85 \sqrt{n} \right)$		
1	6	40	0,15	6,75	8,5	8,0	—	A—ზღუდარის სიგანე
2		58	0,103	7,20	9,1	8,7	9,0	
3		80	0,075	7,50	9,6	9,2	—	
4	12	100	0,06	7,60	9,8	9,5	—	B—დარის სიგანე
5		150	0,04	7,90	10,2	9,95	9,0	
6		200	0,03	8,10	10,4	10,25	—	
7		40	0,30	11,5	14,1	12,8	—	
8		58	0,206	12,7	15,8	14,7	14,2	
9		80	0,15	13,5	17,0	16,0	—	
10	24	100	0,12	14,0	17,8	16,95	—	
11		150	0,08	14,7	18,9	18,2	15,8	
12		200	0,06	15,2	19,6	19,0	—	
13	24	58	0,413	20,8	25,0	21,7	20,5	
14		100	0,24	24,4	30,2	28,0	—	
15		150	0,16	26,6	33,6	31,6	25,0	
16		200	0,12	28,1	35,5	34,0	—	

x-ის მნიშვნელობა, გამოთვლილი ფორმულებით და ცდებით, როდესაც $B=const$

№ რიგ.	B სმ	A სმ	n	x სმ			ცდები	შენიშვნა
				$1,52A(1 - 0,67\sqrt{n})$	$2A(1 - 0,75\sqrt{n})$	$2A(1 - 0,85\sqrt{n})$		
1	58	3	0,052	3,90	4,95	4,83	5,4	A—ზღუდარის სიგანე.
2		6	0,103	7,20	9,12	8,75	9,0	
3		9	0,155	10,10	12,70	12,00	12,2	B—ღარის სიგანე.
4		12	0,210	12,60	15,70	14,60	14,2	
5		20	0,345	18,40	22,20	20,00	—	$n = \frac{A}{B}$
6		30	0,520	23,60	27,60	23,40	23,4	
7		36	0,636	25,50	28,80	23,00	24,5	
8		42	0,721	27,40	30,70	22,80	26,5	
9		46,5	0,809	28,20	30,70	22,30	26,8	
10	150	50	0,860	28,40	30,00	21,00	27,0	
11		3	0,02	4,13	5,36	5,30	4,0	
12		6	0,04	7,90	10,20	10,00	9,0	
13		9	0,06	11,40	14,70	14,25	13,0	
14		12	0,08	14,70	18,90	18,20	15,8	
15		20	0,133	23,00	29,00	27,60	—	
16		30	0,200	31,90	39,60	37,20	31,5	
17		40	0,266	39,90	49,00	44,80	—	
18		48	0,320	45,20	55,00	50,00	50,0	
19		60	0,40	52,50	63,00	55,80	52,0	
20		96	0,64	68,00	76,80	61,40	62,0	
21		110	0,735	71,00	78,50	59,50	—	
22	120	0,800	73,00	79,20	57,60	—		

შემთხვევა, როდესაც ზღუდარი დატბორილია

სიმეტრიულად განლაგებული დატბორილი ზღუდარის გარშემოწინების პარამეტრებზე გავლენას ახდენს $\delta = \frac{h}{H}$ შეფარდება, სადაც h ზღუდარის სიმაღლეა; H — ნაკადის სიღრმე; პარამეტრების სიდიდეები გამოთვლება ფორმულებით:

$$x_{დ} = \beta^{\delta} x; \quad y_{დ} = \beta^{\delta} y, \quad (103)$$

სადაც $\beta = 0,125$.

იმ შემთხვევაში, როდესაც ზღუდარი ნაპირზეა მიყრდნობილი,

$$x_{დ} = 2x_{დ}, \quad y_{დ} = 2y_{დ}. \quad (104)$$

შემთხვევა, როდესაც ზღუდარი ირიბადაა განლაგებული

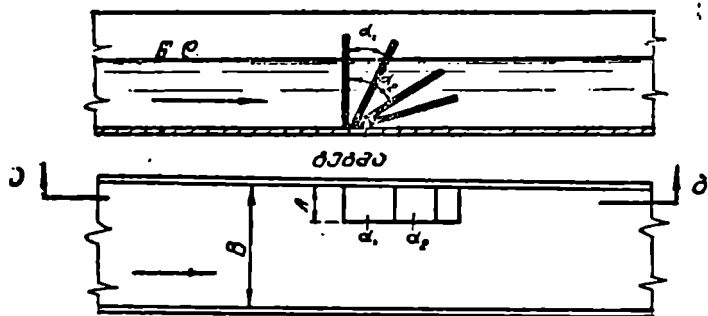
ნაპირსაკეცი ნაგებობებს (ღეზები და დამბები) ხშირად აგებენ ნაკადუხალში გარკვეული α კუთხით (ნახ. 62).

ნაპირზე მიბჯენილი დაუტბორავი ბრტყელი ზღუდარის შემოვლის კონტურის პარამეტრები შემდეგნაირად გამოისახება:

$$\left. \begin{aligned} x &= 3,04 A(1 - 0,67\sqrt{n})(1 - \cos \alpha); \\ x_1 &= 3,04 A(1 - 0,67\sqrt{n} \sin \alpha); \\ y &= 3,2A(1 - 0,95\sqrt{n})(1 - \cos \alpha). \end{aligned} \right\} \quad (105)$$

წყალდიდობის დროს წყლის გადაძინება ირიბად განლაგებული დეზების ($\alpha_2 < 90^\circ$) თხემზე მნიშვნელოვნად ამცირებს ადგილობრივი გარეცხვის

ჯილი ა-ბ



ნახ. 62. ნაკადის მოქმედება ირიბ ზღუდარზე.

კონტურის სიდიდეს ნაკადის მხრიდან. მაშინ x და y პარამეტრები უნდა გამრავლდეს β -ის სიდიდეზე, სადაც $\beta = 0,125$:

შემთხვევა, როდესაც ბრტყელი ზღუდარის გარშემოძინების კონტური იცვლება ზღუდარის დაფერლების კუთხის მიხედვით

ლაბორატორიულმა ცდებმა გვიჩვენეს, რომ როდესაც ბრტყელი ზღუდარი დახრილია ნაკადის დინების მიმართულებისაკენ, ფსკერული ნალექების შემოვლის კონტური თანდათან მცირდება და ნულს უახლოვდება. აქედან გამომდინარე, სიმეტრიულად განლაგებული ზღუდარისათვის დადგენილი შემდეგი დამოკიდებულება (ნახ. 63):

$$\left. \begin{aligned} x &= 0,5A + 1,5A(1 - 1,1\sqrt{n}) \frac{70 - \alpha}{72}; \\ y &= 1,6A(1 - 0,95\sqrt{n}) \frac{80 - \alpha}{65}. \end{aligned} \right\} \quad (106)$$

ნაპირზე მიბჯენილი დახრილი ზღუდარებისათვის x -ისა და y -ის მნიშვნელობები განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

$$\left. \begin{aligned} x &= 3A(1 - 1,1\sqrt{n}) \frac{72 - \alpha}{72}; \\ y &= 3,2A(1 - 0,95\sqrt{n}) \frac{80 - \alpha}{72}. \end{aligned} \right\} \quad (107)$$

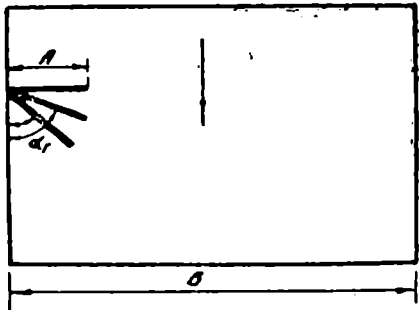
x და y სიდიდე თავის მაქსიმუმს აღწევს, როდესაც $m=0$. ე. ი. როდესაც ზღუდარი ვერტიკალურ მდგომარეობაშია. α კუთხის გადიდებასთან ერთად, x -ისა და y -ის მნიშვნელობები მკირდება წირულად და როდესაც $\alpha_2 = 720$, რომელსაც შეესაბამება ფერდი $m=3$, $x=A$, ე. ი. ადგილობრივი გარეცხვა არ ხდება.

α კუთხის გადიდებისას მკირდება აგრეთვე y და როდესაც $\alpha = 80^\circ$, ის ნულია ტოლი ხდება.

როდესაც ზღუდარი დატბორილია, დატბორვის კოეფიციენტის გადიდებისას გარშემოდინების კონტურის პარამეტრები x და y მნიშვნელოვნად მკირდება, მაგრამ გადადინება ქვემო ბიეფში წარმოშობს განივ ცირკულაციას, მიმართულს დამბის გაყოლებით ქვედა მხრიდან. რომელიც აძლიერებს ნაპირისა და ნაგებობის გარეცხვას.

უნდა აღინიშნოს, რომ ლაბორატორიაში ჩატარებულ ექნა აგრეთვე რიგი ცდებისა დატბორილ ზღუდარებზე. რომლებიც განლაგებული იყო დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით ($\alpha_2 > 90^\circ$).

დაკვირვებებმა გვიჩვენეს ასეთი ზღუდარების რაციონალური მუშაობა. რომელიც ხელს უწყობს დალექვას და ნაპირის გამაგრებას.



ნახ. 63. ნაკლის მოქმედება დაფარებულ ზღუდარზე.

გ. გამკოლ ნაპირსამაგრ ნაგებობათა მუშაობის პრინციპები

გამკოლი ნაპირსამაგრა ნაგებობანი ხშირად ხორციელდება ხიმიწყებისაგან ღეზების, ტამბების ან გრძივი სარტყლები სახით. ხიმიწყები ჩაისობა ჭგუფურად ან მწკრივად მდინარის დინების სიჩქარის მიხედვით.

ამ ტიპის ნაგებობებს უდავოდ მთელი რიგი უპირატესობა აქვს მასობურთან შედარებით, განსაკუთრებით ადგილობრივი გარეცხვისადმი უფრო მეტი მდგრადობის მხრივ. მაგრამ მათი მუშაობის პრინციპები ჯერ კიდევ

არ არის საბოლოოდ დამუშავებული. ამიტომ ამ ნაგებობათა ჰიდროდინამიკური მოვლენების დაზუსტება, ნალექების მოძრაობის კანონების დადგენა მეტად საჭიროა.

გამჭოლ ზღუდარზე ნაკადის გარშემოწინების კონტურის ხასიათი ისეთივე უნდა იყოს, როგორც მთლიან წყალგაუმტარ ზღუდარზე, რომლის კოეფიციენტი $K_{გამ} = 0$. ამ კოეფიციენტის ზრდის შედეგად x და y პარამეტრების სიდიდე მცირდება და როდესაც $K_{გამ} = 0,65-0,70$, ფსკერული ნალექები უშუალოდ იწყებენ გასვლას ზღუდარის არეში.

პარამეტრების გამოსათვლელად მიღებულია შემდეგი ფორმულები:

$$\left. \begin{aligned} x_{გამ} &= C_x A (1 - K_x \sqrt{n}) \left(\frac{0,7 - K_{გამ}}{0,7} \right)^{1/2} ; \\ y_{გამ} &= C_y A (1 - K_y \sqrt{n}) \left(\frac{0,7 - K_{გამ}}{0,7} \right)^{1/2} , \end{aligned} \right\} \quad (108)$$

სადაც A ზღუდარის სიგანეა.

თუ გამჭოლი ზღუდარი მიყრდნობილია ნაპირზე, მაშინ:

$$\left. \begin{aligned} x_{გამ} &= K_0 x_{გამ} ; \\ y_{გამ} &= K_0 y_{გამ} . \end{aligned} \right\} \quad (109)$$

ამრიგად, გამჭოლი ზღუდარის გარეცხვის კონტური დამოკიდებულია ზღუდარის სიგანეზე, ნაკადის შევიწროვების კოეფიციენტსა და გამჭოლობის კოეფიციენტზე. მაგრამ ამ პარამეტრებით (x და y) სიდიდეები დამოკიდებული უნდა იყოს იმ ხარჯზე, რომელიც გამჭოლ ზღუდარში გაივლის.

სომხეთის ჰიდროტექნიკისა და მელიორაციის სამეცნიერო-საკვლეო ინსტიტუტის მიერ ამ ხარჯის დასადგენად მოცემულია დამოკიდებულება:

$$q_{გამ} = q_0 \frac{M(1-p)}{1 - K[1 - M(1-p)]} \quad (110)$$

სადაც $q_{გამ}$ ხვედრითი ხარჯია გამჭოლ დეზში;

q_0 — ხვედრითი ხარჯი კალაპოტში;

$M = \frac{M_{გამ}}{M_j}$ — კოეფიციენტი, რომელიც გამოსახავს გამქოლ დეზში
გამავალი თავისუფალი ნაკადის ხარჯების შეფარდებას;

$K = \frac{A}{B}$ — შევიწროების კოეფიციენტი;

$\rho = \frac{d}{d+s}$, სადაც d დეზის ელემენტის სიგანეა, s — ღრიქოს სიგანე.

საქართველოს ჰიდროტექნიკისა და მელიორაციის სამეცნიერო-საე-
ვლევი ინსტიტუტის მიერ გამქოლ ნაგებობებში ხარჯის გამოსათვლელად
მოცემულია შემდეგი ფორმულა:

$$q_{გამ} = q_0 \frac{K_{გამ}}{1+n(K_{გამ}-1)}, \quad (111)$$

სადაც $q_{გამ}$ არის ხარჯი გამქოლ ნაგებობაში;

n — ნაკადის შევიწროების კოეფიციენტი.

ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე დადგენილია, რომ,
როდესაც $K_{გამ} = 0,7$ და $n = 0,1 \div 0,75$, მაშინ გამქოლ ზღუდარში $0,5$ —
 $0,63$ რაოდენობის ხარჯი გადის. 23-ე ცხრილში მოცემულია ამ ფორმუ-
ლით გამოთვლილი ხარჯების სიდიდე სხვადასხვა შემთხვევისათვის.

ცხრილი 23

№ რიბ	A სმ	n	$q_{გამ}$ ლიტ. წმ	$\frac{q_{გამ}}{q_0}$	შენიშვნა
1	2	3	4	5	6
1	3	0,053	0,427	0,499	$q_0 = 0,6$ ლ/წმ $k_{გამ} = 0,7$ $(q_0)_{გამ} = \frac{0,6}{0,7} = 0,857$ — ხვედრითი ხარჯის სიდიდე, რომელიც გამქოლ ზღუდარზე მოდის
2	5	0,089	0,432	0,504	
3	10	0,179	0,443	0,517	
4	15	0,268	0,456	0,533	
5	20	0,357	0,470	0,548	
6	30	0,536	0,501	0,585	
7	35	0,625	0,517	0,603	
8	42	0,700	0,542	0,932	

აქედან შეიძლება გავაკეთოთ დასკვნა, რომ გამქოლი კოეფიციენტის
ყოველი მნიშვნელობის დროს $0,7 > K_{გამ} > 0$ მდინარის ნალექები გაივლის
ნაგებობაში მაშინ, როდესაც ხვედრითი ხარჯი ამ ნაგებობაში $(0,5 \div 0,65) \times$
 $\times (q_0)_{გამ}$. სიდიდის იქნება ან, სხვანაირად რომ ვთქვათ, თუ $\frac{K_{გამ}}{1+n(K_{გამ}-1)}$

ტოლი იქნება 0,5±0,65-ის. ისე როგორც მთლიან ზღუდარებში, გამკოლ-
შიც გარშემოდინების კონტური მცირდება ვერტიკალური სიბრტყის დახ-
რის შედეგად.

როდესაც გამკოლი ზღუდარის წნევიანი მხარე დახრილია 22—25°
(ე. ი. $m=3$), ზღუდარის კონტურზე გამოჩენება არ შეინიშნება; ნაკადის
გველა უფრო წყნარია K გამ ყოველგვარი მნიშვნელობის დროს.

ტ ბ რ ი ლ ი 24

ყ პარამეტრის მნიშვნელობები, გამოთვლილი ა. მილოვიჩის
ფორმულით და ცდებით

№ რიგ.	ცდების №	H სმ	u=1 გ/სმ/წმ	u ს _{საშ}	u ს _{საშ}	u ს _{საშ}	u ს _{საშ}	ყ-ის მნიშვნე- ლობა, სმ		შენიშვნა
								ცდებით	ყ=1,6A(1- -0,95/π -0,013 u	
1	50	2,5	49,6	3,30	2,30	1,52	4,56	6,20	6,70	a = 3სმ u - u _{საშ} = = 15 სმ/წმ
2	49	5	70,0	4,70	3,70	1,92	5,75	7,00	6,70	
3	48	10	99,2	6,60	5,60	2,37	7,10	7,00	6,70	
4	47	15	122,0	8,13	7,13	2,68	8,05	7,00	6,70	
5	46	20	140,0	9,33	8,33	2,90	8,70	7,00	6,70	
6	45	25	157,0	10,45	9,45	3,08	9,25	7,20	6,70	
7	44	30	171,5	11,45	10,45	3,24	9,71	7,20	6,70	
8	—	35	185,5	12,35	11,35	3,37	10,10	—	6,70	
9	121	40	198,0	13,20	12,20	3,50	10,50	7,00	6,70	
10	—	45	210,0	14,00	13,00	3,62	10,85	—	6,70	
11	122	50	222,0	14,80	13,80	3,72	11,15	7,00	6,70	
საშუალო								6,95	6,70	
1	39	2,5	49,6	3,30	2,30	1,52	7,60	8,00	9,80	a = 5 სმ
2	38	5	70,0	4,70	3,70	1,92	9,60	10,00	9,80	
3	37	10	99,2	6,60	5,60	2,37	11,85	10,00	9,80	
4	36	15	122,0	8,13	7,13	2,68	13,40	10,00	9,80	
5	35	20	140,0	9,33	8,33	2,90	14,50	9,75	9,80	
6	34	25	157,0	10,45	9,45	3,08	15,40	9,75	9,80	
7	33	30	171,5	11,45	10,45	3,24	16,20	9,50	9,80	
8	—	35	185,5	12,35	11,35	3,37	16,85	—	9,80	
9	49	40	198,0	13,20	12,20	3,50	17,50	10,00	9,80	
10	—	45	210,0	14,00	13,00	3,62	18,10	—	9,80	
11	50	50	222,0	14,80	13,80	3,72	18,60	10,00	9,80	
საშუალო								9,70	9,80	

ზემომოყვანილი მასალების დამუშავების საფუძველზე გამდიდრებულია ა. მილოვიჩის მიერ ჩამოყალიბებული თეორიული საფუძვლები, რის შედეგად კიდევ უფრო დაზუსტდა საანგარიშო ფორმულები (ცხრილი 24). მაგრამ ნაკადისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ურთიერთქმედების რთული პროცესი ჯერ კიდევ ბევრ გადაუწყვეტელ საკითხს შეიცავს. ჰიდროტექნიკური მშენებლობის დიდი პერსპექტივა ჩვენს ქვეყანაში გადაუდებლად მოითხოვს ამ საკითხისადმი უფრო მეტი ყურადღების მიქცევას.

ამისათვის საჭიროა უფრო გულმოდგინედ ლაბორატორიული და თეორიული ძიებანი მდინარის ნაკადის, კალაპოტისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ურთიერთქმედების კანონზომიერებათა უკეთ შესასწავლად, რის საფუძველზეც შესაძლებელი იქნება ნაპირსამაგრი კონსტრუქციების რაციონალური ტიპების შემუშავება სხვადასხვა პირობების დროს.

გულდასმით უნდა იქნეს შესწავლილი ექსპლოატაციაში მყოფი ნაპირსამაგრი ნაგებობების მუშაობა, გამოვლინდეს მათი დადებითი და უარყოფითი მხარეები, შემოწმდეს სისწორე იმ თეორიული გაანგარიშებებისა, რომლებიც საფუძვლად დაედო გეგმარებას.

ჩვენი რესპუბლიკის მდინარეებზე აგებულია მრავალი საინტერესო ნაპირსამაგრი ნაგებობა სხვადასხვა დაწესებულებებისა და უწყებების მიერ, მათზე სისტემატური დაკვირვების წარმოება მდინარის სხვადასხვა რეჟიმის დროს მრავალ საინტერესო მასალას მოგვცემს, რომელთა შესწავლა გარკვეულ შუქს მოჰფენს ნაკადისა და ნაგებობების ურთიერთქმედების რთული პროცესის ახლის საქმეს.

ლიტერატურა

1. Алтуниш С. Т., Регулирование русел, Москва, 1956 г.
2. Артамонов К. Ф., Регулировочные сооружения и работы на реках в предгорных районах, г. Фрунзе, 1957 г.
3. Акулов К. А. и Великанов М. А., Краткое изложение теории движения речного потока, Москва, 1928 г.
4. Близняк Е. В., Поляков Б. В., Инженерная гидрология, Москва, 1939.
5. Великанов М. А., Гидрология суши, Ленинград, 1948 г.
6. Великанов М. А., Динамика русловых потоков, Ленинград, 1949 г.
7. Гагошидзе М. С., Селевые грязекаменные потоки и борьба с ними в Закавказье, 1958 г.
8. Данелия Н. Ф., Водозаборные сооружения на реках с обильными дольными наносами (докторская диссертация), 1957 г.
9. Джунковский, Близняк и др., Введение в гидротехнику, Москва, 1955.
10. Замарин Е. А. и Фандеев В. В., Гидротехнические сооружения, Москва, 1960 г.
11. Караушев А. В., Проблемы динамики естественных водных потоков, Ленинград, 1960 г.
12. Кузнецов С. А., Типы береговых укреплений на основных реках, 1935 г.
13. Леви И. И., Динамика русловых потоков, Госэнергоиздат, 1957 г.
14. Лелявский С., Введение в речную гидравлику, Ленинград, 1961 г.
15. ა. ლ. ს. ბ. გ. რ. ი. ძ. ე, საქართველოს შეფორმებულ საუკუნის ეკონომიური ძეგლები. თბილისი, 1937 წ.
16. Мечитов И. И., Гидравлическое исследование работы берегозащитных сооружений, Ереван, 1960 г.
17. Михайлов К. А. и Богомолов А. И., Гидравлика, гидрология и гидрометрия, Москва, 1950 г.
18. Нырков Н., Теория речных потоков, Вильна, 1906 г.
19. Потапов М. В., Регулирование водных потоков методом искусственной поперечной циркуляции, Москва, 1947 г.
20. Фролов А. М. и Подвязкин К. А., Укрепление речных берегов и земляных откосов, Москва, 1957г.
21. Шаумян В. А. и Хачатрян А. Г., Струенаправляющие системы, Москва, 1953 г.
22. Академия наук СССР, Русловые процессы, сборник статей, Москва, 1958.
23. Арм. НИИГи М, Информационное письмо № 2 и № 3, Ереван, 1957 г.
24. ВНИИГиМ, Бюллетень по гидротехнике и мелиорации № 3, 1956 г.
25. Государственная библиотека СССР им. Ленина, Русские гидротехники, Москва, 1951 г.
26. Министерство речного флота СССР, Вопросы гидротехники свободных рек, Москва, 1948 г.
27. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, Секция гидродинамики и русловых процессов, т. V, Ленинград, 1960 г.
28. Труды Всесоюзного научно-технического совещания по водозаборным сооружениям и русловым процессам, том I, Тбилиси, 1961 г.
29. Гидротехническое строительство, № 5, 1951 г.

ს ა რ ჩ ე ვ ი

რედაქტორისაგან	2
შესავალი	3
I. მდინარეთა ხაერთო დახასიათება და მათი კალაპოტის ფორმირების პირობები	8
1. ზოგადი მიმოხილვა	8
2. მდინარის კალაპოტი	12
3. მდინარის შესართავეები	15
4. კალაპოტის ნაკადი და კალაპოტშიგა პროცესები	17
5. ეროზია და აკუმულაცია	20
6. ნატბორები (მუხლები) და ჩქერები	22
7. ფარგის მორფომეტრული დამოკიდებულება	23
8. მდინარეთა პროფილები	26
9. ნატანი	29
10. სელური ნაკადები	37
II. კალაპოტის რეგულირების ამოცანები	41
III. მდინარეთა რეჟიმის შესწავლის მოკლე ისტორიული მიმოხილვა	43
IV. ნაკადის მოძრაობის ძირითადი კანონების თანამედროვე მდგომარეობა	72
1. ტურბულენტური მოძრაობისა და განივი ცირკულაციის კანონები	72
2. მდინარეთა კალაპოტის ფორმირება, მათი კლასიფიკაცია მდინარის კალაპოტის ფორმირების ზოგადი კანონების დადგენისათვის	96
V. სარეგულიაციო ღონისძიებანი	96
1. დროებით ნაგებობათა ზოგიერთი ტიპი	98
2. მუდმივი ნაპირსამაგრი ნაგებობანი	107
VI. ხელურ ნაკადებთან ბრძოლა	121
VII. ზოგიერთი თეორიული და ექსპერიმენტული მონაცემები კალაპოტის ფორმირებისა და ადგილობრივი გარეცხვის შესახებ	126
1. მდინარის ნაკადისა და კალაპოტშიგა პროცესების დამახასიათებელი თავისებურებანი	126
2. მდინარის მორფომეტრული მახასიათებლები	132
3. კავშირი მდინარის კალაპოტის ზომებსა და მის სიმრუდეს შორის გეგმაში	138
4. ნაპირსაცე ნაგებობათა დაპროექტების ძირითადი საფუძვლები	142
5. ექსპერიმენტული გამოკვლევების ამოცანები	160
ლი ტ ე რ ა ტ უ რ ა	182

Г. С. К о б у л и я

**Вопросы регулирования движения
речного потока и русла**

(на грузинском языке)

Издательство Грузинского политехнического

института им. В. И. Ленина
Тбилиси — 1962

რედაქტორი ნ. დანელიძე
გამომცემლობის რედაქტორი დ. შირიშანიანი
ტექნიკური ა. კაციტაძე
რევიზორ-კორექტორი ნ. გრძელიძე

გადაეცა წარმოებას 1/IX-1962 წ. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24/X I-1962 წ.
ანაწყოების ზომა 6¹/₂ × 10. ქაღალდის ზომა 60 × 90¹/₁₆. საბეჭდი თაბახი 11,5.
სააქტორო თაბახი 10,5. საალრიცხვო-საგამომცემლო თაბახი 10,95.
შეკვ. № 823. შიშ 093021. ტირაჟი, 1.000.
ფასი 1 მან. 7 კაპ.

საქ. სსრ კულტურის სამინისტროს
მთავარპოლიგრაფგამომცემლობის სტამბა № 1,
თბილისი, ორჯონიკიძის ქ. № 50.

Типография № 1 Главполиграфиздата
Министерства культуры Грузинской ССР.
Тбилиси, ул. Орджоникидзе № 50