

UDC 551.51-7

SCOPUS CODE 1904

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-2-44-55>

ქალაქ თბილისის ფარგლებში გამავალი მცირე მდინარეებისა და მათი შენაკადების კალაპოტების რეგულირება საინჟინრო ეკოლოგიური ღონისძიებებით, მდინარე ლოჭინის შენაკადის მდინარე ალისხევის მაგალითზე

ლევან წულუკიძე

სტუ-ის ცოტნე მირცხულავას სახ. წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი, საქართველო, 0162, თბილისი, ი.ჭავჭავაძის გამზ. 60

E-mail: levanitsulu@mail.ru

ირაკლი

როსტომაშვილი

გარემოსდაცვითი ინჟინერიისა და ეკოლოგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69

E-mail: rostomashviliirakli@yahoo.com

ჯიმშერ ქერქაძე

გარემოსდაცვითი ინჟინერიისა და ეკოლოგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69

E-mail: j.kerkadze@gtu.ge

რეცენზენტები:

რ. დიაკონიძე, სტუ-ის ცოტნე მირცხულავას სახ. წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის ბუნებრივი კატასტროფების განყოფილების ხელმძღვანელი; ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი, საქართველოს ეკოლოგიურ მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი

E-mail: robertdia@mail.ru

დ. ერისთავი, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: d.eristavi@gtu.ge

ანოტაცია. ჩვენს პლანეტაზე მიმდინარე კლიმატის გლობალურმა ცვლილებამ მნიშვნელოვნად გაააქტიურა ბუნების სტიქიური მოვლენები, როგორც ბიცაა: წყალდიდობა, წყალმოვარდნა, ეროზია, მყინ-

ვარების დნობა, ღვარცოფული მოვლენები და სხვა.

ანალოგიური ვითარებაა საქართველოშიც, კერძოდ მის მთისა და მთისწინა რეგიონებში, სადაც გააქტიურებულია წყალდიდობები, წყალმოვარდნები და ღვარცოფული მოვლენები. აქედან გამომდინარე,

მნიშვნელოვანი ყურადღება უნდა მიექცეს დასახლებულ პუნქტებს, სადაც საფრთხის ქვეშ არის მოსახლეობა და ინფრასტრუქტურული ობიექტები.

ნაშრომში განხილულია ქ. თბილისის ფარგლებში გამავალი მდ. ლოჭინის კალაპოტში არსებული ეკოლოგიური მდგომარეობა და შემოთავაზებულია მისი გაუმჯობესების გზები. მოცემულია საზღვარგარეთის ქვეყნების მოწინავე გამოცდილების ანალიზი, რომელიც მოიცავს მდინარეთა კალაპოტებში ფრაგმენტული რევიტალიზაციის გამოყენებით მათ ხეობებში ეკოლოგიური სტაბილურობის აღდგენას.

ამ მიზნის მისაღწევად განხილულია მდ. ლოჭინის შენაკადის – ღვარცოფული ხასიათის მდ. ალისხევის ხეობაში განხორციელებული საველე კვლევები და კვლევის შედეგები, რითაც დგინდება მდ. ალისხევის კალაპოტში არსებული მდგომარეობა. კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ იგი არის აქტიური ღვარცოფული წყალსადინარი, რომელიც საფრთხეს უქმნის როგორც სოფ. მარტყოფის მოსახლეობასა და ინფრასტრუქტურას, ისე მდ. ლოჭინის კალაპოტს, კერძოდ, ტრანსპორტირებული ღვარცოფული ნატანით მის ეკოლოგიურ უსაფრთხოებას.

ნაშრომში, ღვარცოფსადინარის რეგულირების მიზნით, შემოთავაზებულია ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქცია, რომლის ელემენტების გეომეტრიული ზომები დადგენილია კონკრეტულად მდ. ალისხევის კალაპოტისა და მოსალოდნელი ღვარცოფული ნაკადის პარამეტრების მიხედვით. გაანგარიშებულია კონსტრუქციის თითოეული რიგის ელემენტებზე მოქმედი ღვარცოფის დამრტყმელი ძალები და რადგან კონსტრუქცია არის გამჭოლი, დადგენილია შესაბამისად გამავლობის კოეფიციენტები.

გამოთვლილია სექციების გავლის შემდეგ ღვარცოფის დარჩენილი დამრტყმელი ძალები, რის მიხედვითაც გაანგარიშებულია ნაგებობის ეფექტურობა. ნაშრომში წარმოდგენილია სამეცნიერო დასკვნები, კერძოდ, საველე-სარეკოვანოსცირებო კვლევებისა და აეროფოტომასალების კამერალური დამუშავების მიხედვით გაანალიზებულია მდ. ალისხევის წყალშემკრებ აუზში არსებული ეკოლოგიური მდგომარეობა; გამოკვეთილია ის ეკოლოგიური საფრთხეები, რომელიც გავლენას ახდენს მის და, შესაბამისად, მდ. ლოჭინის სტაბილურობაზე; არსებული საფრთხეების რეგულირების მიზნით, შემოთავაზებულია ინოვაციური ღვარცოფსაწინააღმდეგო კონსტრუქცია და მათემატიკური გაანგარიშების საფუძველზე დადგენილია მისი ეფექტურობა.

საკვანძო სიტყვები: მცირე მდინარეები; რევიტალიზაცია; ღვარცოფის დარტყმის ძალა; ღვარცოფის ხარჯი; ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა.

შესავალი

უკანასკნელ პერიოდში ჩვენს პლანეტაზე მიმდინარე კლიმატის გლობალურმა ცვლილებამ მნიშვნელოვნად გაააქტიურა მცინვარების დნობის პროცესი, სხვადასხვა გენეზისის ღვარცოფული მოვლენები, გახშირდა ინტენსიური წვიმები და მისგან გამოწვეული წყალმოვარდნები და წყალდიდობები, ეროზიული პროცესები. აღნიშნული ეკოლოგიური დისბალანსი უფრო თვალსაჩინოა მთისა და მთისწინა რაიონებში. ყოველივე ზემოაღნიშნული საფრთხეს უქმნის ეკოლოგიური რის-

კის ზონებში მცხოვრები მოსახლეობის სიცოცხლესა და ჯანმრთელობას, სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების სრულფასოვან გამოყენებას, რისკის ქვეშ დგება სამეურნეო საქმიანობის მრავალი დარგის შეუფერხებელი ფუნქციონირება, ფერხდება საერთაშორისო და ადგილობრივი დანიშნულების სატრანსპორტო, ენერგეტიკული და ეკოლოგიური დერეფნების უწყვეტი ფუნქციონირება, რის გამოც მნიშვნელოვნად ზარალდება ქვეყნის ეკონომიკა.

ანალოგიური სიტუაციაა საქართველოში და მის დედაქალაქ თბილისშიც, რომლის ადმინისტრაციულ ფარგლებშიც გაედინება 30-მდე მცირე მდინარე, რომლებიც წარმოადგენს საქართველოს დედამდინარის – მტკვრის მიკროშენაკადებს. ზოგადად, ქალაქ თბილისის შემოგარენში არსებული მცირე მდინარეთა ხეობები და კალაპოტები დღეისათვის ძლიერ ტრანსფორმირებულია, მიდრეკილია ამ ბოლო პერიოდში მეტად გააქტიურებული მეწყრული და ეროზიული გამოვლინებებისადმი. მცირე მდინარეთა წყალდამცავი ზონების ზოგიერთი მონაკვეთი კი ჩახერგილია, ადგილზე არის უკანონოდ განთავსებული შენობა-ნაგებობები, მდინარეთა კალაპოტების ზოგიერთ მონაკვეთში კი მრავლადაა მცენარეები, სამრეწველო, სამშენებლო და საყოფაცხოვრებო ნაგავი. ყველა ზემოჩამოთვლილი პრობლემის გადაჭრა მნიშვნელოვანი ფაქტორია ქ. თბილისის როგორც ცენტრალურ, ისე პერიფერიულ ნაწილში დასახლებული პუნქტების ეკოლოგიური უსაფრთხოებისათვის, რისთვისაც საჭიროა მდინარეთა ხეობებში ბუნებრივი და ანთროპოგენური მიზეზებით გამოწვეული ეკოლოგიური წონასწორობის აღდგენა. როგორც საზღვარგარეთის ქვეყნების მოწინავე გამოცდილებამ აჩვენა,

ყველაზე უფრო დამაკმაყოფილებელ შედეგებს იძლევა წყალსადინართა აღდგენა იმ პერიოდის დონემდე, რომელიც მოცემული რეგიონის ინდუსტრიული ათვისების წინმსწრებია. ასეთი პროგრამები მოიცავს არა მარტო იმ ღონისძიებებს, რომლებიც მიმართულია მდინარეთა წყლის ხარისხის გაუმჯობესებისაკენ, არამედ მათზე არსებულ, ამავე პერიოდისათვის დამახასიათებელ და ტრადიციულ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა რეკონსტრუქციასაც [1].

ძირითადი ნაწილი

ჩვენი კვლევის ობიექტია მდინარე ლოჭინი, რომელიც, მდინარე მტკვრის მარცხენა შენაკადია. ლოჭინი სათავეს იღებს იალნოს ქედის სამხრეთ კალთაზე, 1085 მ სიმაღლეზე და მიედინება ივრის ზეგანზე. მდ. მტკვარს იგი ერთვის ფონიჭალასთან. მისი მთლიანი სიგრძეა დაახლოებით 30 კმ, აუზის ფართობი კი – 307 კმ². ლოჭინის ძირითადი მიკროშენაკადებია მდინარეები: ნორიოსხევი, ალისხევი, საცხენისი, ლილოსხევი. იგი საზრდოობს წვიმის, თოვლისა და მიწისქვეშა წყლებით. წყალდიდობა იცის გაზაფხულზე, წყალმცირობა – ზამთარში, წყალმოვარდნები – ზაფხულსა და შემოდგომაზე. ლოჭინი გამოიყენება სარწყავად. მის მარჯვენა მხარეს გაშენებულია ქ. თბილისის უბანი ლილო [2].

მდ. ლოჭინის კალაპოტში, ისევე როგორც ზოგადად დიდ ქალაქებში გამავალი მცირე მდინარეების კალაპოტების შემთხვევაში, მნიშვნელოვნად არის დარღვეული ეკოლოგიური წონასწორობა, რაც გამოწვეულია ზემოაღნიშნული ანთროპოგენური ფაქტორებითა და, ასევე, ბოლო პერიოდში მეტად გააქტიურებული ეკოლოგიური კატასტროფებით. ამიტომ, ევროპული ქვეყნების რეკომენდაციების

გათვალისწინებით, მიზანად დავისახეთ ჩვენი საკვლევი მდინარეებისათვის ფრაგმენტული რევიტალიზაციის განხორციელება და მათ კალაპოტებში ეკოლოგიური წონასწორობის აღდგენა [3].

მხედველობაში აუცილებლადაა მისაღები საკვლევი მდინარეთა წყალშემკრებ აუზებში ბუნებრივი კატასტროფების მიერ გამოწვეული საფრთხეების მინიმუმამდე დაყვანა, რომ არ მოხდეს ბუნებრივად მიმდინარე აღდგენითი პროცესების შეფერხება ან/და მათი განადგურება [4]. ამ მიზნით ჩვენ გამოვიკვლიეთ მდ. ლოჭინის ძირითადი შენაკადები, რომელთაგანაც საყურადღებოდ მივიჩნიეთ მისი ერთ-ერთი შენაკადის, მდ. ალისხევის ღვარცოფული ხასიათი (სურ. 1).

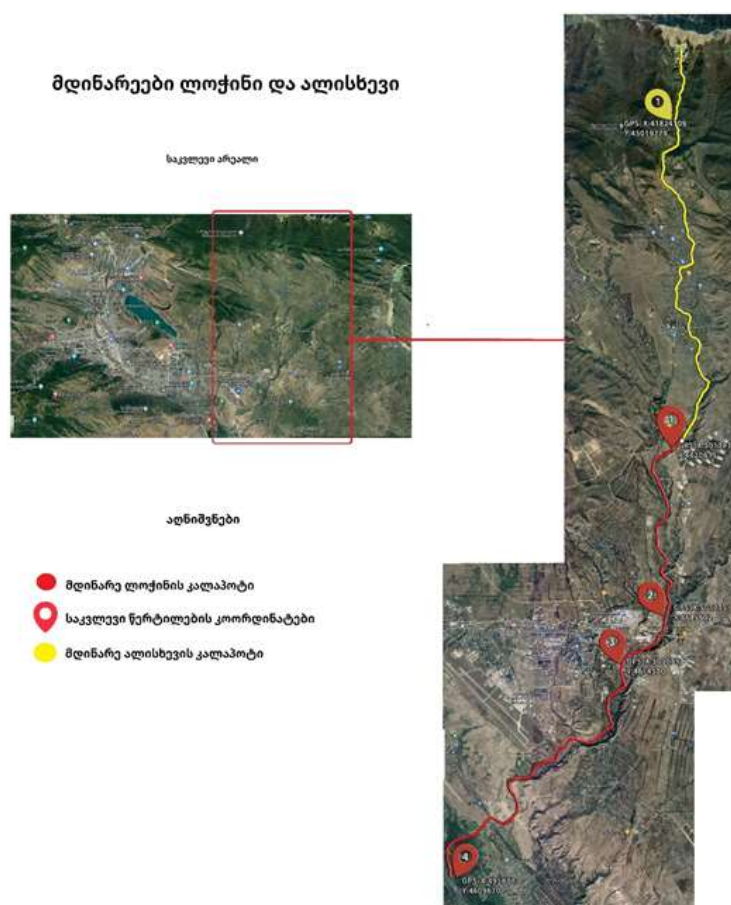
მდ. ალისხევი, ისევე როგორც მდ. ლოჭინი, სათავეს იღებს იალნოს ქედიდან 1575 მ-ზე და სოფელ მარტყოფის სამხრეთით უერთდება მდინარე ლოჭინს მარცხნიდან [5].

ჩვენ მიერ 2022 წლის 19 იანვარს განხორციელებულმა საველე-საექსპედიციო კვლევებმა გვიჩვენა, რომ მდ. ალისხევის კალაპოტი მნიშვნელოვნად არის შევსებული ღვარცოფული ნატანით, რაც იმის მანიშნებელია, რომ ამ თვალსაზრისით იგი აქტიური ხევიანაა. მისი სიგრძე სატრანზიტო უბნის ბოლოდან სოფელ მარტყოფში არსებულ პირველ ხიდამდე არის დაახლოებით 2,7 კმ და მთელ ამ სიგრძეზე კალაპოტი შევსებულია ღვარცოფული ნატანით, რომლის სიმაღლე ზოგიერთ ადგილებში 0,5-1,5 მეტრსაც აღწევს (ფოტო 1,ა).

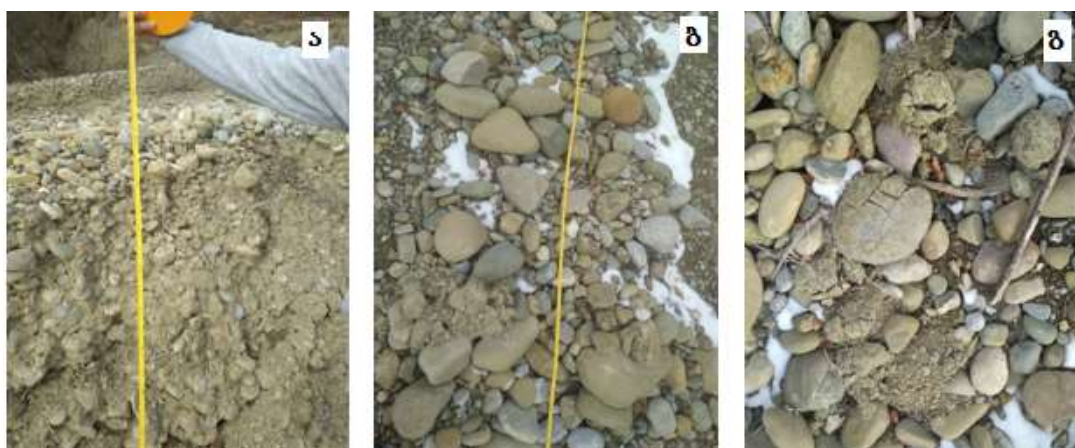
ღვარცოფული მასა ძირითადად შედგება მსხვილ- და საშუალომარცვლოვანი ნატეხოვანი ქვებისაგან, რომელთა დიამეტრია დაახლოებით 5–

15 სმ და როგორც წესი, მათი ზომები მდინარის სათავესკენ იზრდება (ფოტო 1,ბ). ასევე გვხვდება თიხნარი კონგლომერატებიც (ფოტო 1,გ), რაც იმაზე მიუთითებს, რომ კალაპოტში აქტიურად მიმდინარეობს ნიადაგის ეროზიული პროცესები და კალაპოტის ნაპირების წარეცხვა, ჩამონგრევა-ჩამოშვება (ფოტო 2). გამოტანის კონუსის დასაწყისში და თვითონ სატრანზიტო უბანზე გვხვდება დიდი ზომის ლოდებიც, რომელთა დიამეტრი ხშირად 2,5 მ-ზე მეტია, რაც იმის მანიშნებელია, რომ ღვარცოფულ ნაკადს დიდი ენერგია აქვს (ფოტო 3).

იმის გათვალისწინებით, რომ ჩვენი მიზანი იყო მდ. ლოჭინის დარღვეული ეკოლოგიური ბალანსის აღდგენა და მის კალაპოტში ფრაგმენტული რევიტალიზაციის განხორციელება, აუცილებელი გახდა მისი შენაკადის – მდ. ალისხევის სტაბილურობის შენარჩუნება. ამ მიზნის მისაღწევად, ჩვენ მიერ შემოთავაზებულია ინოვაციური ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობა, რომლის პრიორიტეტულობა დამოწმებულია საქართველოს ეროვნული პატენტის (P-6808) მოწმობით. ჩვენ მიერ საველე-საექსპედიციო კვლევების პერიოდში მდ. ალისხევის კალაპოტში შეირჩა ადგილი (ფოტო 3.ბ.) კოორდინატებით – $X=41.824109$; $Y=45.019779$, სადაც წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის ელემენტებისგან შედგენილი ღვარცოფსაწინააღმდეგო საფეხუროვანი ბარაჟის (საგუბრის) განთავსება ყველაზე ეფექტური იქნებოდა. დადგინდა ამ ადგილის განივი პროფილის გეომეტრიული ზომები, რის მიხედვითაც განისაზღვრა აღნიშნული ნაგებობის კალაპოტში განთავსება (სურ. 2).



სურ. 1. საკვლევ მდინარეთა ადგილმდებარეობის სატელიტური რუკა – სქემა



ფოტო 1. მდ. ალისხევის კალაპოტში განთავსებული ღვარცოფული ნატანის ფრაგმენტაცია:

ა. ნატანის სიმაღლე; ბ. ნატანის გეომეტრიული ზომები; გ. ნატანის შედგენილობა.



ფოტო 2. მდ. ალისხევის კალაპოტის დეფორმირებული ნაპირები: ა. მარცხენა ნაპირი; ბ. მარჯვენა ნაპირი.



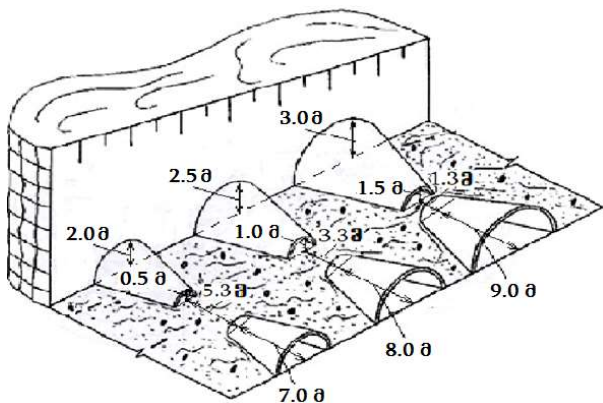
ფოტო 3. გამოტანის კონუსზე ღვარცოვის მიერ ტრანსპორტირებული
ლოდები სატრანზიტო უბანზე

მდ. ალისხევის კალაპოტში მოსალოდნელი ღვარცოვული მოვლენების ეფექტური მართვის მიზნით, კალაპოტში შერჩეული ადგილის გეომეტრიული ზომების მიხედვით განისაზღვრა ღვარცოვ-

საწინააღმდეგო საფეხუროვანი ბარაჟის (საგუბრის) ელემენტების ზომები (სურ. 3) და მასზე ღვარცოვის ზემოქმედების შესაფასებლად განხორციელდა სათანადო თეორიული კვლევები.



სურ. 2. მდინარე ალისხევის კალაპოტში
ღვარცოფსაწინააღმდეგო ნაგებობის განთავსების სქემა



სურ. 3. ღვარცოფსაწინააღმდეგო საფეხუროვანი ბარაჟის
(საგუბრის) ელემენტების ზომები

ქვემოთ მოყვანილია მათემატიკური ანგარიში ღვარცოფსაწინააღმდეგო საფეხუროვან ბარაჟზე (საგუბარზე) ბმული ღვარცოფის ზემოქმედების შესაფასებლად [6].

თავდაპირველად უნდა აღინიშნოს, რომ ნაგებობის წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის ელემენტები ჩვენს შემთხვევაში განლაგებულია სამ რიგად. რიგებს შორის დაცილება მცირეა $L=10$ მ, რის გამოც ანგარიშში არ არის გათვალისწინებული ღვარცოფის ენერგიის სიგრძეზე დანაკარგი ნაგებობის წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის ელემენტების პირველი რიგიდან მესამე რიგამდე ღვარცოფის გავლისას.

ნაგებობაზე ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის საანგარიშო ფორმულას აქვს შემდეგი სახე [7]:

$$P = \frac{1,5 \cdot \gamma \cdot \omega \cdot V^2}{g} \cdot \left[\cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + \frac{h_0}{2 \cdot H} \left(\frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) \right], \quad (1)$$

სადაც γ არის ღვარცოფის მოცულობითი წონა (კგ/მ^3);

V – ღვარცოფის ტალღის მოძრაობის სიჩქარე (მ/წმ);

g – სიმძიმის ძალის აჩქარება (მ/წმ^2);

ω – კალაპოტის ცოცხალი კვეთის ფართობი მ^2 ;

h_0 – ბმულობის შესაბამისი ეკვივალენტური სიმაღლე;

φ – შიგა ხახუნის კუთხე;

H – ღვარცოფული ნაკადის სიმაღლე;

α – კალაპოტის ქანობი.

ნაგებობაზე მოქმედი ბმული ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის საანგარიშოდ ვიღებთ ღვარცოფული ნაკადისა და კალაპოტის შემდეგ მახასიათებლებს: ღვარცოფსადინრის კალაპოტის სიგანე $B=19,3$ მ, ღვარცოფული ნაკადის სიმაღლე $H=3$ მ, მოსალოდნელი ღვარცოფის ტალღის მოძრაობის საანგარიშო სიჩქარე $V=5$ მ/წმ და მოცულობითი წონა $\gamma=2000$ კგ/მ³, შინაგანი ხახუნის კუთხე ამ ტიპის გრუნტებისათვის ავიღეთ $\varphi=30^\circ$ -ის ტოლი და სადინრის ქანობი საკვლევ მონაკვეთში: $i = 0,174$ ($\alpha = 10^\circ$).

ზემოაღნიშნული პირობების გათვალისწინებით, ნაგებობაზე მოქმედი ბმული ღვარცოფის დამრტყმელი ძალის მნიშვნელობა ტოლია:

$$P = \frac{1,5 \cdot \gamma \cdot \omega \cdot V^2}{g} \cdot \left[\cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + \frac{h_0}{2 \cdot H} \left(\frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) \right] =$$

$$= \frac{1,5 \cdot 2000 \cdot 19,3 \cdot 3 \cdot (5)^2}{9,81} \cdot \left[0,985 \cdot 0,577 + \frac{4}{2 \cdot 3} \cdot \frac{1 - 0,5}{0,866} \right] =$$

$$= 4218,6 \text{ კნ.}$$

რადგან ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ნაგებობა არის გამჭოლი, გამავლობის კოეფიციენტი იანგარიშება ფორმულით.

$$K_n = \frac{\omega_{\text{გამჭოლი } n \text{ რიგი}}}{\omega}, \quad (2)$$

სადაც $\omega_{\text{გამჭოლი } n \text{ რიგი}}$ არის ნაგებობის რიგში არსებული წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის ელემენტებზე გადადინებული ღვარცოფის მიერ დაკავებული ფართობი;

n – ნაგებობის წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ელემენტების რიგის ნომერი.

ნაგებობის ელემენტების ღვარცოფის დარტყმის შეკავების კოეფიციენტი:

$$K_n^I = \frac{\omega_{\text{ყრუ } n \text{ რიგი}}}{\omega}, \quad (3)$$

სადაც $\omega_{\text{ყრუ } n \text{ რიგი}}$ არის ნაგებობის რიგში არსებული წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის ორი ელემენტის ფრონტალური პროექციის ფართობების ჯამი (ელემენტების პროექციის ფართობი წარმოადგენს ტრაპეციის ფართობს).

განგარიშები ნაგებობის პირველი რიგისთვის
გამავლობის კოეფიციენტი:

$$K_1 = \frac{\omega_{\text{გამჭ. I რიგი}}}{\omega} = \frac{40,4}{57,9} = 0,7,$$

სადაც $\omega_{\text{გამჭ. I რიგი}} = \omega - \omega_{\text{ყრუ I რიგი}} = 57,9 - 17,5 = 40,4 \text{ მ}^2$;

$$\omega = B \cdot H = 19,3 \cdot 3 = 57,9 \text{ მ}^2.$$

$$\omega_{\text{ყრუ I რიგი}} = S_1 + S_2 = 8,75 + 8,75 = 17,5 \text{ მ}^2,$$

სადაც S_1 და S_2 არის ნაგებობის პირველ რიგში არსებული მარცხენა და მარჯვენა წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის ელემენტის ფრონტალური პროექციის ფართობები.

$$S_1 = \frac{a_1 + b_1}{2} \cdot h = \frac{0,5 + 2}{2} \cdot 7 = 17,5 \text{ მ}^2;$$

$$S_2 = \frac{a_1 + b_1}{2} \cdot h = \frac{0,5 + 2}{2} \cdot 7 = 17,5 \text{ მ}^2,$$

აქ a_1 და b_1 არის ნაგებობის პირველი რიგის წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ელემენტის ტრაპეციული პროექციის მცირე და დიდი ფუძეები.

ნაგებობის პირველ რიგში არსებული წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ორივე ელემენტზე მოქმედი ბმული ღვარცოფის დამრტყმელი ძალა ტოლია:

$$P_{\text{ყრუ I რიგი}} = P \cdot K_1^I = 4218,6 \cdot 0,3 = 1265,6 \text{ კნ,}$$

$$\text{სადაც } K_1^I = \frac{\omega_{\text{ყრუ I რიგი}}}{\omega} = \frac{17,5}{57,9} = 0,3.$$

ნაგებობის პირველი რიგის გავლის შემდეგ ბმული ღვარცოფის ნარჩენი დამრტყმელი ძალა ტოლია:

$$P_{\text{ნარჩენი I რიგი}} = P - P_{\text{ყრუ I რიგი}} = 4218,6 - 1265,6 = 2953 \text{ კნ.}$$

განგარიშები ნაგებობის მეორე რიგისთვის
გამავლობის კოეფიციენტი

$$K_2 = \frac{\omega_{\text{გამჭ. II რიგი}}}{\omega} = \frac{29,9}{57,9} = 0,52,$$

სადაც $\omega_{\text{გამჭ. II რიგი}} = \omega - \omega_{\text{ყრუ II რიგი}} = 57,9 - 28 = 29,9 \text{ მ}^2$;

$$\omega = B \cdot H = 19,3 \cdot 3 = 57,9 \text{ მ}^2. \quad \omega_{\text{ყრუ II რიგი}} = S_1 + S_2 = 14 + 14 = 28 \text{ მ}^2,$$

სადაც S_1 და S_2 არის ნაგებობის მეორე რიგში არსებული მარცხენა და მარჯვენა წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ელემენტის ფრონტალური პროექციის ფართობები.

$$S_1 = \frac{a_2 + b_2}{2} \cdot h = \frac{2,5 + 1}{2} \cdot 8 = 14 \text{ მ}^2;$$

$$S_2 = \frac{a_2 + b_2}{2} \cdot h = \frac{2.5 + 1}{2} \cdot 8 = 14 \text{ მ}^2,$$

აქ a_2 და b_2 არის ნაგებობის მეორე რიგის წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ელემენტის ტრაპეციული პროექციის მცირე და დიდი ფუძეები.

ნაგებობის მეორე რიგში არსებული წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ორივე ელემენტზე მოქმედი ზმული ღვარცოფის ნარჩენი ძალა ტოლია:

$$P_{\text{ყრუ I რიგი}} = P_{\text{ნარჩენი II რიგი}} \cdot K_2^I = 2953 \cdot 0,48 = 1417,4 \text{ კნ};$$

$$\text{სადაც } K_2^I = \frac{\omega_{\text{ყრუ II რიგი}}}{\omega} = \frac{28}{57,9} = 0,48.$$

ნაგებობის პირველი რიგის გავლის შემდეგ ზმული ღვარცოფის ნარჩენი დამრტყმელი ძალა ტოლია:

$$P_{\text{ნარჩენი II რიგი}} = P_{\text{ნარჩენი I რიგი}} - P_{\text{ყრუ II რიგი}} = 2953 - 1417,4 = 1535,6 \text{ კნ}.$$

განგარიშები ნაგებობის მესამე რიგისთვის

გამავლობის კოეფიციენტი:

$$K_3 = \frac{\omega_{\text{გამკ. III რიგი}}}{\omega} = \frac{12,9}{57,9} = 0,22,$$

$$\text{სადაც } \omega_{\text{გამკ. III რიგი}} = \omega - \omega_{\text{ყრუ III რიგი}} = 57,9 - 45 = 12,9 \text{ მ}^2;$$

$$\omega = B \cdot H = 19,3 \cdot 3 = 57,9 \text{ მ}^2.$$

$$\omega_{\text{ყრუ III რიგი}} = S_1 + S_2 = 22,5 + 22,5 = 45 \text{ მ}^2,$$

სადაც S_1 და S_2 არის ნაგებობის მესამე რიგში არსებული მარცხენა და მარჯვენა წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ელემენტის ფრონტალური პროექციის ფართობები.

$$S_1 = \frac{a_3 + b_3}{2} \cdot h = \frac{2+3}{2} \cdot 9 = 22,5 \text{ მ}^2;$$

$$S_2 = \frac{a_3 + b_3}{2} \cdot h = \frac{2+3}{2} \cdot 9 = 22,5 \text{ მ}^2,$$

აქ a_3 და b_3 არის ნაგებობის მესამე რიგის წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ელემენტის ტრაპეციული პროექციის მცირე და დიდი ფუძეები.

ნაგებობის მესამე რიგში არსებული წაკვეთილი ნახევარკონუსის ფორმის მქონე ორივე ელემენტზე მოქმედი ზმული ღვარცოფის დამრტყმელი ძალა ტოლია:

$$P_{\text{ყრუ III რიგი}} = P_{\text{ნარჩენი II რიგი}} \cdot K_3^I = 1536,6 \cdot 0,78 = 1198,5 \text{ კნ}.$$

$$\text{სადაც } K_3^I = \frac{\omega_{\text{ყრუ III რიგი}}}{\omega} = \frac{45}{57,9} = 0,78.$$

ნაგებობის პირველი რიგის გავლის შემდეგ ზმული ღვარცოფის ნარჩენი დამრტყმელი ძალა ტოლია:

$$P_{\text{ნარჩენი III რიგი}} = P_{\text{ნარჩენი II რიგი}} - P_{\text{ყრუ III რიგი}} = 1536,6 - 1198,5 = 338,1 \text{ კნ},$$

ღვარცოფსაწინააღმდეგო საფეხუროვანი ბარაჟის (საგუბრის) ელემენტებზე მოქმედი ღვარცოფის დარტყმის შეკავების კოეფიციენტსა და ღვარცოფის მიერ ნაგებობის საფეხუროვანი ელემენტების გავლის შემდეგ მიღებულ ნარჩენ დამრტყმელ ძალას შორის კავშირი მოცემულია შემდეგი ფუნქციური დამოკიდებულების სახით $K_n^I = f(P_{\text{ნარჩენი II რიგი}})$ [8]:

$$K_1^I = 0,3 \text{ შემთხვევაში } P_{\text{ნარჩენი I რიგი}} = 2953 \text{ კნ};$$

$$K_2^I = 0,48 \text{ შემთხვევაში } P_{\text{ნარჩენი II რიგი}} = 1535,6 \text{ კნ};$$

$$K_3^I = 0,78 \text{ შემთხვევაში } P_{\text{ნარჩენი III რიგი}} = 338,1 \text{ კნ}.$$

დასკვნა

1. განხორციელებულმა საველე-საექსპედიციო კვლევებმა აჩვენა, რომ მდ. ალისხევი ნამდვილად არის ღვარცოფული ხასიათის წყალსადინარი, სადაც ღვარცოფის წარმოქმნისათვის ხელსაყრელი მეტეოროლოგიური პირობების შემთხვევაში მის კალაპოტში შესაძლებელია განვითარდეს ღვარცოფული მოვლენები;
2. განხორციელებულმა თეორიულმა და კარტოგრაფიულმა გამოთვლებმა გვიჩვენა, რომ მდ. ალისხევი შესაძლოა წარმოიქმნას დიდი სიმძლავრის ღვარცოფი, რომელიც საფრთხეს შეუქმნის პირველ რიგში სოფელ მარტყოფის მოსახლეობასა და

- მის ინფრასტრუქტურას, ხოლო შემდეგ მდ. ალისხევისა და, შესაბამისად, მდ. ლოჭინის ეკოლოგიურ სტაბილურობასაც;
3. თეორიულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ შემოთავაზებული ღვარცოფსაწინააღმდეგო საინჟინრო-ეკოლოგიური ღონისძიება ეფექტურია და შესაძლებელია განხორციელდეს მდ. ალისხევის კალაპოტში მოსალოდნელი ღვარცოფული მოვლენების ნეგატიური შედეგების შესარბილებლად, რადგან ნაგებობაზე ზემოქმედი ღვარცოფის ფრონტის საწყისი $P=4218.6$ კნ ძალა, ნაგებობის გავლის შემდეგ შემცირდა დაახლოებით $4218.6 \div 338.1 \approx 12$ -ჯერ, რაც მიუთითებს ნაგებობის ეფექტურობაზე;
4. აღსანიშნავია, რომ ღვარცოფსაწინააღმდეგო საფეხუროვანი ბარაჟის (საგუბრის) ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები მაღალია, რადგან ბარაჟის გამოყენება შესაძლებელია უავარიოდ და ხანგრძლივად, რაც გამორიცხავს დამატებით ხარჯებს მისი რემონტისათვის.

ლიტერატურა

1. Government of Georgia. (2013, December 31). *On Approval of the Technical Regulations on Water Protection Zones of Small Rivers in Georgia*. Decree No. 445. Tbilisi. (In Georgian); <https://www.matsne.gov.ge/ka/document/view/2187049>
2. Aphkhazava, I. (1983). *Lochini*. Georgian Soviet Encyclopedia. Vol. 6, p. 300. Tbilisi: Main Scientific Editorial. (In Georgian);
3. Rostomashvili, I. (2021, autumn). Environmental Practice and European Experience in the Revitalization of Small Rivers. *Wild Life*, 16(41), p. 80-85. Tbilisi. (In Georgian);
4. Ukleba, D. (1989). Tbilisi - Economic and Geographical Research In V. Jaoshvili (Ed.). *Nature of Tbilisi and its Environs. Inland Waters* (p.p. 44-50). Tbilisi: Sabch'ota Sakartvelo. (In Georgian);
5. Matiashvili, A., Menabde, L., Sagaradze, Sh. (1983). *Martkophi*. Georgian Soviet Encyclopedia. Vol. 6, p.462. Tbilisi: Main Scientific Editorial. (In Georgian);
6. Patent of Georgia. (2012). Stepped Barrage of Anti debris-flow. *Official Bulletin of Industrial Property*, 1(341):16. Tbilisi. (In Georgian);
7. Chakhaia, G., Tsulukidze, L., Laoshvili, Z., Bosikashvili, Sh., Gugushvili, T., Khubulava, I. and others. (2021). *The Effectiveness of Modern Anti Debris Flow Construction and Reliability Assessment on the Example of the Floodplain river Mletiskhevi*. p. 74. Tbilisi: Public Home Universali. (In Georgian);
8. Chakhaia, G., Kvashilava, N., Tsulukidze, L., Lobzhanidze, Z., Kupreishvili, Sh., Supatashvili T. and others. (2017). The Assessment of Debris Flow Influence on the Debris Flow against Stepped Barrage. *International Journal of Sciences: World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development*. 3(2): 1-5. India. www.wwjmrt.com

UDC 551.51-7

SCOPUS CODE 1904

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-2-44-55>

Regulation of the Channels of Small Rivers and Their Tributaries Passing Within the City of Tbilisi by Engineering and Environmental Measures on the Example of the Aliskhevi River, a Tributary of the Lochini River

Levan Tsulukidze	Institute of Water Management named after Tsotne Mirtskhulava, Georgian Technical University, Georgia, 0162, Tbilisi, 60, I. Chavchavadze str. E-mail: levanitsulu@mail.ru
Irakli Rostomashvili	Department of Environmental Engineering and Ecology, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 69, M. Kostava str E-mail: rostomashviliirakli@yahoo.com
Jimsher Kerkadze	Department of Environmental Engineering and Ecology, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 69, M. Kostava str E-mail: j.kerkadze@gtu.ge

Reviewers:

R. Diakonidze, Head of the Department of Natural Disasters, Institute of Water Management named after Tsotne Mirtskhulava; Doctor of Technical Sciences, Professor, Academic of Georgian Academy of Ecological Sciences
E-mail: robertdia@mail.ru

D. Eristavi, Professor, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU
E-mail: d.eristavi@gtu.ge

Abstract. Global climate change on our planet has significantly intensified natural disasters, such as floods, flash floods, erosions, glaciers, landslides, and more. The situation is similar in Georgia, particularly in its mountainous and foothill regions, where floods, mudflows and downpours are intensifying. Therefore, special attention should be paid to populated areas where the population and infrastructure facilities are at risk.

The ecological state of the Lochini riverbeds within the city of Tbilisi is discussed and ways to improve it are suggested. An analysis of the advanced experience of foreign countries is presented, including the restoration of environmental sustainability in their valleys with the help of fragmentary revitalization in riverbeds.

To achieve this goal, those field studies that were carried out in the gorge of the Aliskhevi River, in turn, the having mudflow character and representing the tributary of the Lochini River, are analyzed. The results of a study that determine the current state of the Aliskhevi riverbed are presented. The results of the study showed that this is

an active mudflow, which poses a threat both to the population of the village of Martkophi and its infrastructure, as well as to the channel of the Lochini River, in particular, its environmental safety due to the transport of debris flow.

The article proposes an anti-mudflow structure, the geometric dimensions of the elements of which are calculated specifically for the channel of the Aliskhevi River and according to the parameters of the expected mudflow. The effectiveness of this structure is calculated by further mathematical calculations. The corresponding scientific conclusions are given on the basis of field reconnaissance studies and office processing of aerial photographs.

Keywords: anti-mudflow; expenditure mudflow; force; mudflow impact; revitalization; structure small rivers.

განხილვის თარიღი 24.03.2022

შემოსვლის თარიღი 29.03.2022

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 06.06.2022