

0413 ზურაბ

ლობჯანიძე

Zurab

Lobjanidze

ტექნიკურ მეცნიერებათა კანდიდატი, უმაღლესი სასწავლებელი „განათლების აკადემია“

Doctor of Technical Sciences, Higher Education Institution "Education Academy"

თამარ კვარაცხელია

Tamar Kvaratskhelia

ბიზნესის მართვის დოქტორი, უმაღლესი სასწავლებელი „განათლების აკადემია“

Doctor of Business Management. Higher Education Institute "Education Academy"

ზედაპირული ჩამონადენის გავლენა ეროზიულ პროცესების ფორმირებაზე The Influence of Surface Runoff in the Formation of Erosion Processes

რეზიუმე: ნაშრომში მოცემულია ფილტრაციული პროცესის (დინების) სამივე სტადიის შეფასება. დადგენილია, რომ პროცესის პირველი სტადიის აღწერა ჰიდრომექანიკის კლასიკური კანონების გამოყენებით მოკლებულია გადაწყვეტის რაიმე კონკრეტულ შესაძლებლობებს. შემდეგი სტადია იწყება მაშინ, როცა ფილტრაციული ნაკადის ფრონტი გაივლის კაპილარული ქობის მთელ შრეს და მიეზღინება გრუნტის წყლის სააკუმულაციო აუზის დინამიკური წონასწორობა და ის გადადის არასტაციონალურ რეჟიმში. შემდგომი სტადია, ჰიდროგეოლოგიური სქემის შესაბამისად ხასიათდება ჰიდრაულიკური რეჟიმის უწყვეტობით, მაგრამ არათანაბრობით, რომლის ხარისხიც დამოკიდებულია გრუნტის წყლის ბალანსის ძირითად კომპონენტებზე. მიღებულია დასკვნა, რომ სხვადასხვა სტადიაზე მიმდინარე ფილტრაციული პროცესის კანონზომიერება განპირობებულია სხვადასხვა ბუნებისა და წარმოშობის ძალების ერთობლივი მოქმედების ჯამურ ეფექტზე და ამიტომაც პროცესის აღწერა ერთი რომელიმე უნივერსალური განტოლებით შეუძლებელია.

საკვანძო სიტყვები: გრუნტის წყალი, წყლისმიერი ეროზია, ნიადაგ-გრუნტი, სარწყავი მიწათმოქმედება.

Abstract: The paper deals with assessment all three stages of filtration process (flow). It is determined that the description of the first stage of the process by using the classical laws of hydromechanics lacks any specific possibilities for solution.

Further stage, according to hydrogeological scheme, is therefore characterized by the continuity of the hydraulic regime, but unequal, quality of which depends on the core components of the water balance of the board. The conclusion is that the regularity of the

current filtration process at different stages is due to the total effect of the joint action of different nature and origin forces, and that is why the description of the process is impossible with one of the universal equations.

Keywords: ground water, water erosion, soil-ground, irrigation soil science.

შესავალი

ფერდობების ეროზიის განმაპირობებელ ფაქტორთა შორის ძირითადი როლი ზედაპირულ ჩამონადენს მიეკუთვნება. ნიადაგ-გრუნტებისა და ტურბულენტური ნაკადის ურთიერთმოქმედება ინტეგრალურად აისახება სხვადასხვა ინტენსივობის ეროზიული პროცესების ფორმირებაში.

დღემდე ბუნებრივ-ტექნიკური სარწყავი სისტემის პროექტირებას და ექსპლუატაციის პირობების ნორმატიული წესების დამუშავებას, საფუძვლად ჰქონდა ჰიდრომეტეოროლოგიური, ჰიდროლოგიური, ნიადაგურ-რელიეფური და სხვა ფაქტორების ინტეგრალური მაჩვენებლების გამოყენება, მათი დიფერენცირებული რაოდენობრივი შეფასების გარეშე, ისე რომ არ განისაზღვრებოდა თითოეული მათგანის როლი და მნიშვნელობა საერთო წყალმოთხოვნილების ბალანსში.

ყოველივე ზემოთქმულის გამო, განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ყველა ბუნებრივ-ეკოლოგიური და ანთროპოგენული ფაქტორების გათვალისწინებას და გარემოზე რეალიზებული პროცესების უკუგავლენის შეფასებას. სისტემის ინფორმაციული უზრუნველყოფის ბლოკში შემავალი ფაქტორების რაოდენობრივი განსაზღვრის საიმედოობის ხარისხზე დამოკიდებულია მორწყვის წესების შერჩევა, მორწყვის ნორმების დადგენა და ამა თუ იმ ტექნოლოგიური სქემების გამოყენებით ნიადაგის აქტიურ შრეში ტენიანობის რეგულირების ეფექტურობა წყლისმიერი ეროზიული პროცესების გათვალისწინებით.

ცალკეული ფაქტორის უგულებელყოფას, რომელიც ყოველგვარი დასაბუთების გარეშე წინასწარ მიიჩნევა მეორე ხარისხოვნად ეროზიული პროცესების ფორმირებაში, მივყავართ უარყოფით შედეგებამდე, რაც გამოიხატებოდა

პროგრესირებადი ეროზიული კერების წარმოშობაში. ძირითადი ნაწილი სარწყავი ნაკადის ხარჯი ზოლებად მორწყვის შემთხვევაში გაურეცხვადობის პირობის

გათვალისწინებით, შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი დამოკიდებულების მიხედვით:

$$Q = bq = bahr^2 = \frac{EK_n b x}{r^3} = \frac{\partial V_{\Sigma}}{\partial t} \quad (1)$$

სადაც b - სარწყავი ზოლის სიგანე;

V_{Σ} - დასაშვები (არაგამრეცხი) სიჩქარე, რომელიც იანგარიშება არსებული კორექტირებული ან ჩვენს მიერ შემოთავაზებული დამოკიდებულებით.

არსებული რეკომენდაციებით ნიადაგ-გრუნტების ეროზიისაგან დაცვის მიზნით ზედაპირული ნაკადის სიჩქარის დანიშვნა (0,1-0,2)მ/წმ დიაპაზონში, მოკლებულია ყოველგვარ დამაჯერებლობას და ამიტომ საჭიროა მისი რაოდენობრივი განსაზღვრა იმ საანგარიშო დამოკიდებულებების მიხედვით,

რომლებიც ითვალისწინებენ ნიადაგ-გრუნტების არა მარტო ფიზიკურ-ქიმიურ, არამედ თვისებათა ფართო კომპლექსის ამსახველ მახასიათებლებს და ამასთანავე ეფუძვნებიან წყლისმიერი ეროზიის ფიზიკური პროცესის ყველაზე მისაღებ, თეორიულად დასაბუთებულ საანგარიშო მოდელს.

კვლევში მორწყვის წესის გამოყენების შემთხვევაში აუცილებლად მიგვაჩნია შევაფასოთ ჰიდროგეოლოგიური ფონი გრუნტის წყლის რეჟიმი, რისთვისაც საჭიროა განისაზღვროს კვლებიდან ნაკადის კინემატიკური სურათი და აკუმულაციის არეალი ფილტრაციის სტადიების მიხედვით.

არხებიდან ფილტრაციის ზოგადი ჰიდრომექანიკური გადაწყვეტა როგორც თავისუფალი, ასევე შეტბორილი ჰიდროგეოლოგიური საანგარიშო სქემისათვის შემოთავაზებულ იქნა შრომაში (1). ყველა მათემატიკური მოდელი ფილტრაციული ხარჯის პროგნოზირებისათვის განიხილავს იზოტროპულ ფოროვან-კაპილარულ გარემოს, რომელშიც დინების გავრცელების არეალის კონტურები შეესაბამება პოტენციური ძრაობის საწყის და საბოლოო სასაზღვრო პირობებს.

სხვადასხვა მეცნიერთა ნაშრომებში წარმოდგენილ იქნა ფილტრაციული პროცესი ცალკეული სტადიების მიხედვით, რომელთა კლასიფიკაციური კუთვნილება დაექვემდებარა ფილტრაციის ტანში წყალგაჯერების ხარისხის მაჩვენებელს და შესაბამისად პოტენციური ფუნქციის გრადაციას ატმოსფერულ დაწნევასთან კავშირში (4,5).

ამის შესაბამისად, ფილტრაციული პროცესის (დინების) სტადიების შეფასებამ გარკვეული კონკრეტიზაცია შეიძინა ქვემოთ წარმოდგენილი ფორმალიზაციის მიხედვით. პირველი სტადია ხასიათდება წყალშთანთქმის არასტაციონალური რეჟიმით, მოქმედ გრავიტაციულ და ზედაპირულ ძალთა თანაფარდობის მაჩვენებლის ცვალებადობით დროში, ფილტრაციული სიჩქარის მკვეთრი გადახრით დარსის სწორხაზოვანი კანონისაგან. პირობითად ეს სტადია მოიცავს დროის პერიოდს, სანამ ქვემოთ მიმართული წყლის ნაკადის ფრონტი არ მიაღწევს კაპილარული ქობის ზედა ზღვარს. ინფილტრაციული პროცესის ამ სტადიის აღწერა ჰიდრომექანიკის კლასიკური კანონების გამოყენებით მოკლებულია გადაწყვეტის რაიმე კონკრეტულ შესაძლებლობებს.

მეორე სტადია - გრუნტის წყლის უწყვეტი ჰიდრაულიკური ნაკადის წარმოქმნა იწყება მაშინ, როცა ფილტრაციული ნაკადის ფრონტი გაივლის კაპილარული ქობის მთელ შრეს და მიეზღინება გრუნტის წყლის სააკუმულაციო აუზის დინამიკური წონასწორობა და ის გადადის არასტაციონალურ რეჟიმში.

შემდგომი სტადია, ჰიდროგეოლოგიური სქემის შესაბამისად ხასიათდება ჰიდრაულიკური რეჟიმის უწყვეტობით, მაგრამ არათანაბრობით, რომლის ხარისხიც დამოკიდებულია გრუნტის წყლის ბალანსის პირითად კომპონენტებზე: გრუნტის წყლის დონის (დეპრესიის) ცვალებადობის, მიწისქვეშა გვერდითი გადინების და აორთქლების ინტენსივობაზე.

სხვადასხვა სტადიაზე მიმდინარე ფილტრაციული პროცესის კანონზომიერება განპირობებულია სხვადასხვა ბუნებისა და წარმოშობის ძალების ერთობლივი მოქმედების ჯამურ ეფექტზე და ამიტომაც პროცესის აღწერა ერთი რომელიმე უნივერსალური ფენომენოლოგიური განტოლებით შეუძლებელი ხდება.

აღსანიშნავია ისიც, რომ კომპლექსური ცვალებადი ფუნქციის მისადაგება ფილტრაციის ამოცანების გადასაწყვეტად თეორიულად სავსებით გამართლებულია,

მაგრამ პრაქტიკული მიზნებისათვის მიღებული შედეგების გამოყენება გარკვეულ კორექტირებას მოითხოვს, რაც აიხსნება აერაციისა და მომიჯნავე შრეების მკვეთრად განსხვავებული წყალ და აირგამტარი თვისებებით. ძირითადი ჰიდროგეოლოგიური საანგარიშო პარამეტრიც ფილტრაციის კოეფიციენტის სახით, მხოლოდ ნიუტონური სითხეებისათვის და ისიც მოცემულ ჰიდროდინამიკურ რეჟიმში წარმოადგენს ფიზიკურ კონსტანტას, რაც თავისთავად აქვეითებს ფილტრაციული დანაკარგების პროგნოზის საიმედოებას.

ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ბუნებრივ-გეოტექნიკურ კალაპოტში გამავალი არხებიდან ფილტრაციის საანგარიშო ჰიდრავლიკური მოდელი (2,3) ემყარება დაშვებას, რომლის მიხედვითაც ფილტრაციული ნაკადი უპირატესად მოძრაობს გრავიტაციული ძალის გავლენით და უგულვებელყოფილია სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელი, რაც გულისხმობს რომ არხის ფსკერიდან გარკვეულ მანძილამდე ექვიპოტენციური ზედაპირი მკვეთრად ჰორიზონტალურია, ხოლო დინების წირები მისი ორთოგონალურია. ამასთან ერთად, ჩვენ მივიღეთ ჰიპოთეზა, რომლის მიხედვითაც ჰიდრავლიკურად უხელსაყრელესი არხის განივკვეთი ხასიათდება ცოცხალი კვეთის ფართობის მაქსიმუმით, რომელსაც შეესაბამება სველი პერიმეტრის მინიმალური მნიშვნელობა, ამიტომაც ასეთი არხიდან ფილტრაციული ხარჯი სავარაუდოდ უნდა იყოს მინიმალური.

ქვემოთ მოყვანილი გაანგარიშებანი ძირითადად გამოხატავენ დამყარებული ფილტრაციის რეჟიმს, ნაკადის მოძრაობა ვერტიკალური მიმართულებისაა, სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელი ნულის ტოლია, ხოლო დეპრესიის თავისუფალ ზედაპირზე „განლაგებული“ კაპილარული ქობი გავლენას არ ახდენს ფილტრაციული ხარჯის სიდიდეზე. ტოლფერდა ტრაპეციული არხის განივკვეთის ფართობი, რომელიც მიიღება ცოცხალი კვეთის ფართობის ტოლად, გამოითვლება

$$\omega = h^2(b + m) \quad (2)$$

ხოლო სველი პერიმეტრი

$$K = h(\beta + 2\sqrt{1 + m^2}) \quad (3)$$

(2) და (3) ფორმულებში მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები:

ω - ცოცხალი კვეთის ფართობი (m^2);

h - წყლის სიღრმე,

(m); β - ფარდობითი

სიგანე;

b - არხის ფუძის სიგანე, (m);

m - ფერდის დახრის

კოეფიციენტი; K - სველი

პერიმეტრი, (m).

იმისათვის, რომ გამოვხატოთ ჰიდრავლიკურად უხელსაყრელესი კვეთი არხის მახასიათებელი პარამეტრებით, ცხადია უნდა ვიპოვოთ (3.18) და (3.19) ფუნქციების მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები, რაც ნიშნავს, რომ უნდა შესრულდეს პირობები:

$$\frac{d\omega}{d\beta} = 0 \text{ და } \frac{d\tau}{d\beta} = 0;$$

(2) და (3)-ის გაწარმოებით

და მოყვანილი

პირობის დაცვით მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \frac{d\omega}{d\beta} &= 2h\beta \frac{dh}{d\beta} + h^2 + 2mh \frac{dh}{d\beta} = 0 \\ \frac{d\tau}{d\beta} &= \beta \frac{dh}{d\beta} + h + 2\sqrt{1+m^2} \frac{dh}{d\beta} = 0 \end{aligned}$$

(4)

(5)

(4) და (5) განტოლებათა სისტემის ამოხსნით გვეჩვენება, რომ ჰიდრავლიკურად უხელსაყრელესი კვეთისათვის

$$\beta = \frac{h}{n} = 2(\sqrt{1+m^2} - m) \quad (6)$$

ანგარიშის შემდგომი ეტაპი მოიცავს ისეთი ვერტიკალური სწორკუთხა კვეთის გაბარიტების შერჩევას, რომელსაც ექნება ისეთივე გამტარუნარიანობა, რაც გააჩნია რეალურ ტრაპეციულ არხს, წყლის ნაკადის თანაბარი მოძრაობის შემთხვევაში. ხარჯი შეიძლება გამოვთვალოთ უწყვეტობის პირობიდან

$$Q = \omega V = h^2(b + mh)C\sqrt{Ri} \quad (7)$$

სადაც C - სიჩქარის (წინაღობის) კოეფიციენტი;

R - ჰიდრავლიკური რადიუსი;

I - ჰიდრავლიკური ქანობი, რომელიც თანაბარი ძრაობის შემთხვევაში აიღება არხის ფსკერის ქანობის ტოლად.

თუ მივიღებთ, რომ

$$C = \frac{1}{n}R^{1/6} \quad (8)$$

სადაც n - წყალგამტარის კალაპოტის ხორკლიანობის კოეფიციენტი, მაშინ შეიძლება დავწეროთ

$$Q = \frac{1}{n}(b + mh)R^{2/3}\sqrt{I} \quad (9)$$

ვირტუალური სწორკუთხა კვეთისათვის, რომლის სიგანეა b_0 , განსაზღვრული ჰიდროდინამიკური ბადის მიხედვით თავისუფალი ფილტრაციის ზონაში, ხოლო h_0 წყლის სიღრმე არხში, გამტარუნარიანობა განისაზღვრება

$$Q_0 = \frac{1}{n}b_0h_0R_0^{2/3}\sqrt{I} \quad (10)$$

(6)-ის გათვალისწინებით, (9) და (10) გამოსახულებათა ურთიერთ გატოლებით და სათანადო გარდაქმნებით, რომელიც ასევე მოიცავს ჰიდრავლიკური რადიუსის ცხადი სახით წარმოდგენას, მივიღებთ

$$\frac{(b_0h_0)^{5/6}}{(b_0+2h_0)^{2/3}} = ah^{5/3} \quad (11)$$

$$a = \frac{(2\sqrt{1+m^2} - m)^{5/2}}{(1+m^2 + \sqrt{1+m^2} - m)^{2/3} \sqrt{I}}$$

სადაც

(11) განტოლებიდან კონკრეტული მონაცემებისათვის, თანდათანობითი შერჩევის წესით ან კიდევ სათანადო გრაფიკების შედგენით კოეფიციენტის მიხედვით ადვილად განისაზღვრება სიდიდე.

ფილტრაციის პროცესის საწყის პერიოდში, ანუ გრუნტის ფორების წყალშევსებამდე, წყლის გადაადგილებაში ერთდროულად მონაწილეობს როგორც გრავიტაციული, ასევე კაპილარულ-ოსმური და სხვა კატეგორიის ძალები. ფილტრაციული ხარჯის განსაზღვრისათვის დაუმყარებელი რეჟიმის ამ სტადიაზე ფილტრაციის სიჩქარე შეიძლება გამოვხატოთ, როგორც გრადიენტის ფუნქცია, ან კიდევ სიჩქარე - ფუნქცია დროის. პირველ შემთხვევაში ფილტრაციის ხვედრითი ხარჯი განისაზღვრება

$$q = K_0 \frac{z+h_0+\sum h}{z} b_0 \quad (12)$$

მეორე შემთხვევაში

$$q = K_1 b_0 \quad (13)$$

განსაზღვრისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ რომელიმე განტოლებით, ან კიდევ აპროქსიმირებული შემდეგი სახის დამოკიდებულებით

(14) $K_1 - K_0 + (K' - K_0) \exp(-at)$ (12), (13) და (14) დამოკიდებულებებში გამოყენებული გვაქვს შემდეგი აღნიშვნები: q - ფილტრაციის ხვედრითი ხარჯი არხის სიგრძის ერთეულზე; K_0 - ფილტრაციის კოეფიციენტი;

z - კოორდინატი, აღებული არხის ფსკერიდან განსხვავებულ კვეთამდე; h_0 - წყლის სიღრმე არხში; $\sum h$ - ყველა ზედაპირული ძალების დაწნევათა ჯამი; b_0 - ვირტუალური სწორკუთხა არხის საანგარიშო სიგანე; K_1 - ინფილტრაციის კოეფიციენტი; K' - ინფილტრაციის კოეფიციენტი დროის საწყისი მომენტისათვის; u - ექსპერიმენტული კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს მოცემულ გრუნტს; t - ფილტრაციის დაუმყარებელი პროცესის მიმდინარეობის დრო.

ხვედრითი ხარჯი (12)-ის მიხედვით z -ის ზრდასთან ერთად მცირდება, ანუ რაც უფრო დიდ სიღრმეზე გადაადგილდება ფილტრაციის ნაკადის ფრონტი, მით უფრო მცირდება გრადიენტი. (13) ფორმულის მიხედვით ხვედრითი ხარჯის ცვალებადობა აისახება (14) კანონით, რაც ნიშნავს, რომ t -ს ზრდასთან ერთად მცირდება K და ის უახლოვდება K_0 -ს. მაშასადამე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ დაუმყარებელი ფილტრაციული რეჟიმის პირობებში ხარჯის გრადიენტის, ან კიდევ დროის ფუნქციაა, თუმცა ზემოთ წარმოდგენილი ინტერპრეტაციით ადვილად მისახვედრია, რომ გრადიენტიც დროის ფუნქციაა და ის მუდმივი ხდება, როცა გრუნტის ფორების წყალგაჯერებასთან ერთად ფილტრაციული ნაკადის ფრონტი დაეყრდნობა გრუნტის წყლის სარკის ზედაპირს.

ფილტრაციის გაანგარიშების შემდგომი ეტაპი პირობითად ეფუძვნება დამყარებული რეჟიმის საანგარიშო მოდელს, რომლის თანახმად $\sum h$ პოტენციალი ნულის ტოლია და z გაუტოლდება არხის ფსკერიდან გრუნტის წყლის ზედაპირამდე მანძილს.

ფილტრაციის სიჩქარე ნებისმიერი დროის მომენტისათვის შეიძლება ვიანგარიშოთ

(15) ამ დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირება სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით $t = 0$, $z = 0$ გვადლევს

$$\frac{dz}{dt} = K_0 \frac{h_0+z}{z}$$

$$t = \frac{1}{K_n} \left(\pi + h_0 \ln \frac{h_0}{h_0 + z} \right) \quad (16)$$

ფილტრაციული ნაკადის გადაადგილების საშუალო სიჩქარე H სიმძლავრეზე (მანძილზე) ტოლი იქნება

$$V = K_0 \frac{H}{H + \ln \frac{h_0}{h_0 + H}}$$

(17)

ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ გრადიენტის მნიშვნელობა ერთზე მეტია, რადგან ერთზე ნაკლები რიცხვის ლოგარითმი უარყოფითი სიდიდეა და ეს თავის მხრივ ნიშნავს, რომ თავისუფალი ფილტრაციის რეჟიმი შესაბამისი სასაზღვრო პირობებით არ ფიქსირდება. მიუხედავად ამისა, საინჟინრო პრაქტიკისათვის მისაღები სიზუსტით შეიძლება დროის გარკვეულ ინტერვალში გავიგოთ ფილტრაციული ხარჯი და შესაბამისი გრუნტის წყლის დონის ცვალებადობა. ცხადია, გრუნტის წყლის დონის თავისუფალი ზედაპირის მოხაზულობა და „ბორცვის“ სიგრძის რადიუსი დამოკიდებული იქნება გრუნტის ფილტრაციულ თვისებებზე.

დასკვნა

ამრიგად, კონკრეტული ტოპოგრაფიული გეგმისათვის აიგება ჰიდროიზოჰიფსების რუკა, რომლის შესაბამისად განისაზღვრება კაპილარული ქობის სიმძლავრე დამბის არეში. ნიადაგ-გრუნტის ფორების წყალშევსების ხარისხი გრუნტის წყლის დონის გაანგარიშებისა და პროგნოზის შემოთავაზებული მეთოდი განსაკუთრებით დიდ მნიშვნელობას იძენს სარწყავი მიწათმოქმედების პრაქტიკაში, რათა განსაზღვრულ იქნეს ფილტრაციის თავისუფალი სააკუმულაციო არეალის მოცულობა, რომელიც უშუალო კავშირშია ზედაპირული ჩამონადენის ჰიდრომექანიკური და მორფომეტრიული მახასიათებლების ფორმირებასთან, ხოლო ეს უკანასკნელი ცალსახად განაპირობებენ ნიადაგის ზედაპირულ შრეში ეროზიული პროცესების ინტენსივობას.

გამოყენებული ლიტერატურა:

References:

1. ლობჯანიძე, ზ. მებონია, ნ. კვარაცხელია, თ. გრუნტის ფერდოს მდგრადობის საანგარიშო მეთოდი და დაცურების პროცესის მექანიზმი. სსიპ წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის სამეცნიერო შრომათა კრებული, №65, 2010. გვ.175-179. Lobjanidze, Z. Mebonia, N. Kvaracxelia, T. The mechanism for measuring the stability of inclinations and the mechanism of protection. Collection of scientific works of LEPL water management institute. #65, 2010. 175-179 pp.
2. ლობჯანიძე, ზ. ზედაპირული მორწყვის დროს ნიადაგ-გრუნტების წყლისმიერი ეროზიის პროგნოზი. გამომცემლობა „დანი“. 2009. ISBN 978-9941-0-1015-6. Lobjanidze, Z. Prediction of water erosion from surface irrigation. Publishing "Dan". 2009. ISBN 978-9941-0-1015-6.

3. ყრუაშვილი, ი. ლობჯანიძე, ზ. მდგრადობის კრიტერიუმებით ნიადაგ-გრუნტების წყლისმიერი ეროზიის შეფასება. აგრარული მეცნიერების პრობლემები, სსაუ სამეცნიერო შრომათა კრებული 2000. გვ.320-328. Kruashvili, I. Lobjanidze, Z. 2000, Assessment of water erosion of soils with stability criteria. Problems of Agrarian Science, Proceedings 2000. 320-328pp.
4. lacey C. - Stable channels in alluvium. Proc. Inst. Givil Eng. p. 229.
5. Мирцхулава Ц.Е. М.1970, Инжинерные метод расчёта и прогноза водной ерозии. Изд. Колос, М. с. 237. Ts.E. Mirzkhulava 1970, Engineering method for calculating and predicting water erosion. Ed. Kolos, Mp. 237.