

საბოლოო ანგარიში გრანტი №31/74

სამუშაოს მიზანი იყო : საქართველოს შავი ზღვის სანაპირო ზოლის მდინარეების ჰიდროეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება, ბუნებრივი თუ ანთროპოგენული ფაქტორებით გამოწვეული მოსალოდნელი ცვლილებების პროგნოზირება, ზღვის და გარემოს მიზეზ-შედეგობრივი ურთიერთკავშირის გამოკვლევა და მდინარეების ბუნებრივი ჰიდროლოგიური რეჟიმის შენარჩუნების გზების გამოძებნა.

იმთავითვე გვესმოდა, რომ დასახული მიზნის სრულად მიღწევა ამ მცირე დროისა და შეზღუდული ფინანსების პირობებში შეუძლებელი არის, მაგრამ ვფიქრობთ, პროექტის მონაწილეების მრავალწლიანი გამოცდილება და დაგროვილი ინფორმაცია ამ სფეროებში (ჰიდროქიმია, ჰიდროლოგია, ჰიდროინჟინერია), ახლად ჩატარებულ კვლევებთან ერთად, ადასტურებს დასახული მიზნებისათვის ჩვენეული მიდგომების სისწორეს და პერსპექტიულობას. (იხილეთ პროექტის შემფასებელი უცხოელი ექსპერტის შეფასება-მოსაზრებები).

მდინარეთა ეკოსისტემებზე მოქმედი ფაქტორების გავლენის გათვლა და პროგნოზირება შესაძლებელია ობიექტებზე ხანგრძლივი ფუნდამენტური დაკვირვებით მიღებული საიმედო ინფორმაციის არსებობისა და მათი სათანადოდ გაანალიზების საფუძველზე.

მიუხედავად იმისა, რომ ქვეყნის ეკონომიკური განვითარების მოთხოვნების შესაბამისად მკვეთრად იზრდება გარემოზე ადამიანის ზემოქმედების ხარისხი, (მიმდინარეობს და იგეგმება ათობით მცირე თუ დიდი წარმადობის ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობა!!!) სამწუხარო ფაქტია, რომ უკვე ათეული წელია საქართველოში მდინარეებზე დაკვირვება და მათი ჰიდროქიმიური და ჰიდროლოგიური პარამეტრების სისტემური განსაზღვრა აღარ ხდება, არსებული კი მოძველებულია და რბილად რომ ვთქვათ, ხშირ შემთხვევაში დაზუსტებას საჭიროებს.

კონტროლს უკეთეს შემთხვევაში აქვს ეპიზოდური ხასიათი და მხოლოდ ზღვის ზოლში - დაბინძურების თვალსაზრისით. ასეთი მონაცემები ასე თუ ისე, გამოდგება დღევანდელი სიტუაციის შესაფასებლად, მაგრამ სრულიად არაა საკმარისი პროცესების დინამიკის საჩვენებლად და მათზე დაყრდნობით გაკეთებული გათვლები ვერ მოიტანს მოსალოდნელი ცვლილებების სწორ პროგნოზირებას.

პროექტის ფარგლებში :

- შერჩეულ მდინარეებზე (სათავე და შესართავი) სეზონურად აღებული იქნა წყლის ნიმუშები (5-10 ლ). შესართავთან - მდინარის ლამი (ცხრილი 2 , 3 , 7);
- შერჩა და დაზუსტდა ბუნებრივი წყლების ჰიდრო-ეკოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდები (იხ.პირველი შუალედური ნგარიში);
- განსაზღვრული იქნა მდინარის შეტივანარებული ნივთიერებების რაოდენობა წონითი (მგ/ლ) (ცხრილი 2) და სიმღვრივის მეთოდით (ISO 7027) 1 FTU (EMΦ) = 1FNU = 1 NTU. (ცხრილი 3) ;
- ჩატარდა მდინარის წყლის სრული ტიპური ანალიზი: P^H , მთავარი იონების

(HCO_3 , Cl , SO_4 , Ca , Mg , Na ,) შემცველობა, მინერალიზაცია, წყალში შეწონილი ნივთიერებები მგ/ლ, პერმანგ. ჟანგვადობა) (სათავე - შესართავი). (ცხრილი 2);

- შესართავთან შემოწმდა მდინარეების დაბინძურების ხარისხი - ძირითადი ეკოქიმიური პარამეტრები : (სიმღვრივე, P^{H} , საერთო აზოტი, საერთო ფოსფორი, ქ.ბ.მ. , ქ.ქ.მ. (ცხრილი 3);
- მდინარის წყალ - ფაზიდან გაფილტვრით გამოყოფილი იქნა წყალში შეწონილი ნივთიერებები (ტივტივა ნატანი), შესართავთან აღებული იქნა შესაბამისი მდინარეების ლამები. (ცხრილი 2, 7);
- ჩატარდა მყარი ფაზის (შეწონილი ნივთიერებები, ლამი) ფრაქციული, (გრანულიმეტრული) ანალიზი (ცხრილი 4);
- მყარ ფაზაში (შეწონილი ნივთიერებები და ლამი) განისაზღვრა მიკროელემენტების (ზოგიერთი ლითონის) შემცველობა (ცხრილი 5);
- ჩატარდა მყარი ფაზის სილიკატური ანალიზი (მაკროქიმიური შედგენილობა) (ცხრილი 6);
- შესრულდა მყარი ფაზის რენდგენო-ფაზური ანალიზი. (მინერალური შემადგენლობა %). (ცხრილი 7, ნახაზი 1.);

ექსპერიმენტული შედეგები მოცემულია ცხრილების და ნახაზების სახით. (ცხრილი 1,2,3,4,5,6,7), (ნახაზი 1.);

შეფასდა:

- მდინარის წყალში არსებული მყარი- თხევადი ფაზის წონასწორობის საკითხები. დადგენილი იქნა წყალსატევებში მიმდინარე სორბციული პროცესების კანონზომიერებები (იხ, მესამე პერიოდის ანგარიში);
- რეგიონის ძირითადი მდინარეების ჰიდროქიმიური და ჰიდროეკოლოგიური დახასიათება; გვ.31-36
- მდინარის მყარი ნატანის წარმოქმნა და თვისებები, ნატანის ჩამოდინება და მათი როლი სანაპირო ზოლის ფორმირებაში. (იხ. მეორე პერიოდის ანგარიში); გვ. 37-46.
- ფსკერული ნატანის მოძრაობის არსებული მეთოდების განხილვა (იხილეთ მეორე პერიოდს ანგარიში); გვ. 47-49.
- ღონისძიებები, მდინარეთა მყარი ნატანის გადასატანად კაშხლების ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეში მათი შემდგომი ტრანსპორტირებისათვის; გვ. 50-53.
- ფსკერული ნატანის ხარჯის საანგარიშო ფორმულები. კრიტიკული ხვედრითი ხარჯის გაანგარიშება; გვ. 54-68.
- მდინარე - შავი ზღვის ჰიდროეკოლოგიური წონასწორობის საკითხები. გვ. 70-75.

პროექტის ფარგლებში გამოქვეყნებულია სამი სამეცნიერო ნაშრომი, მათ შორის ერთი, საზღვარგარეთ მაღალრეიტინგულ გამოცემაში. მზადაა რამდენიმე საკონფერენციო მასალა. :

1. Journal of Chemistry and Chemical Engineering, ISSN 1934-7375, USA

The Determination of Average Stability Constant of Nickel-FA Complex at pH = 8.0 by the Solubility Method

Giorgi Makharadze^{1*}, Nazi Goliadze², Tamar Makharadze¹ and Guram Supatashvili¹

chemistry@davidpublishing.org; chemistry@davidpublishing.com;

chemistry_davidpublishing@yahoo.com

Received: February 20, 2014 / Accepted: February 28, 2014 / Published: April 25, 2014.

2. მდინარე-შავი ზღვის ჰიდროეკოლოგიური წონასწორობის საკითხები.

ტ.მ.აკადემიური დოქტორი ი. მიქაშვილი, ქიმიურ მეცნ. აკადემიური დოქტორი ნ. გოლიაძე

ჟურნალი "ენერჯია" №3(71), 2014 წ. გვ. 60-64.

3. შეტბორილი ნაკადის ზედა ბიეფის ფორმირების მაქსიმალური სიგრძის გაანგარიშება. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა" №4(35), 2014 წ. გვ. 75-86.

4. ნაკადის საშუალო სიჩქარის საანგარიშო ფორმულა, სიჩქარის კოეფიციენტის (შეზის კოეფიციენტი) დადგენა; საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის 2014 წლის სტუდენტური 82 ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია

ქიმიური ელემენტები ბუნებრივ წყალსატევებში მიგრირდებიან გახსნილი, მყარი და კოლოიდური სახით. მათ შორის თანაფარდობას (ფაზათა-შორის განაწილებას) ბევრად განსაზღვრავს მდინარის წყლის და მყარი ნატანის ბუნება, თვისებები და დამყარებული წონასწორობის პირობები, რომლებიც ასახვას პოულობენ სისტემის დამახასიათებელი პარამეტრების ურთიერთ კავშირში.

ბუნებრივი წყლები წარმოადგენენ ურთულეს ბუნებრივ წონასწორულ სისტემებს. მისი შემადგენელი თითოეული კომპონენტი ურთიერთ დამოკიდებული სიდიდეებია. ეს გარემოება იძლევა იმის საშუალებას, რომ არსებული სიტუაციის ცოდნით, სათანადო თეორიული და ექსპერიმენტული მონაცემების გამოყენებით განისაზღვროს, გაითვალოს და პროგნოზირდეს ნებისმიერი მოსალოდნელი ცვლილების სახე და რაოდენობა.

გახსნილი და შეწონილი ნივთიერებების კონცენტრაციების ცვალებადობის გათვლის თანამედროვე თეორიული მეთოდების მიმოხილვიდან ჩანს რომ გაანგარიშებითი ამოცანის გადაწყვეტა ემყარება დასმული საკითხების თანმიმდევრულ გადაწყვეტას:

- თავდაპირველად ისაზღვრება და დგინდება წყალსატევის (მდინარის) ჰიდროლოგიური, ჰიდროქიმიური პარამეტრები და მყარი ფაზის მექანიკური შემადგენლობა. ბევრი მეცნიერი ფიქრობს, რომ ზომა იძლევა ნატანის ნაწილაკების სრულ დახასიათებას მრავალი პრაქტიკული მიზნებისათვის. (ცხრილი 8, 9)
- მონაცემებზე დაყრდნობით ფორმირდება ჰიდროდინამიკის განტოლებათა სისტემა (სტოქსის ტიპის).
- პოულობენ სიჩქარის ველის შეფასებას.

- ტურბულენტობის თეორიაზე დაყრდნობით ისაზღვრება (ანალიზდება) ნაწილაკების ქცევის დინამიკა. (დალექვა თუ ატივინარება). ისაზღვრება მიმოცვლის კოეფიციენტი.
- ბოლოს ამოიხსნება საერთო ტიპის (ტიხონოვი, სამარსკი) დიფუზიის სამგანზომილებიანი არასტანდარტული განტოლება.
- საჭიროების შემთხვევაში ხდება წყალსატევის ზედაპირზე აკვის წარმოქმნის და მათი აორთქლების, აგრეთვე ნაწილაკების ფსკერზე შენარჩუნების პროცესების გათვალისწინება.

რეგიონში დაგეგმილი ინტენსიური ჰიდრო მშენებლობების პირობებში, რომ არაფერი ვთქვათ მსგავსი მეთოდების ჰიდრომშენებლობების უკეთ ფუნქციონირებისათვის გამოყენების საჭიროების შესახებ, აუცილებლად მიგვაჩნია აღდგეს მდინარეებზე **სრული** ჰიდროლოგიური და ჰიდროქიმიური დაკვირვება და შესწავლა. თანამედროვე მოთხოვნების შესაბამისად შესრულებული ეს სამუშაო მოგვცემს რეალობის ამსახველ სურათს და მომავლის ხარისხიანი პროგნოზირების გარანტიას. (ცნობისავის, კინტრიშის ხეობაში ახლა მიმდინარე „კინტრიში -2 „ ჰესის“ მშენებლობისას, გაანგარიშებები გაკეთებულია 60-იან წლებში **ქ. ქობულეთში** და **სოფ. კობში** ჩატარებული ანალიზების საფუძველზე (?!)

მიღებული შედეგები და მათი განსჯა.

საქართველოს შავი ზღვის სანაპირო ზოლის მდინარეების თხევადი და მყარი ჩამონადენის საშუალო წლიური მოცულობები [1] .

ცხრილი 1.

მდინარე	აუზის ფართობი, კმ ²	წყლის ხარჯი, კმ ³ /წწ	მყარი ნატანი, ათ. მ ³ /წწ
ზობი	1340	1.594	130
რიონი	13400	13.37	354
სუფსა	1130	1.581	143
ნატანები	657	0.773	84.9
კინტრიში	291	0.527	12.6
ჩაქვისწყალი	172.6	0.394	10.6
ყოროლისწყალი	55	0.200	4.6
ჭოროხი	22 100	8.71	4920

მდინარის წყლის მაკროქიმიური (ტიპიური) შედგენილობა (მგ/ლ)

ცხრილი 2.

№ №	საიდენტი ფიკაციო ნომერი R	მდინარე პუნქტი	თარიღი	PH	ტივტივა ნატანი მგ/ლრა	პერმან- განატური ჟანგვადობა მგ/ლ	მინერალ იზაცია მგ/ლ	$HC0_3^-$ მგ/ლ	Cl^- მგ/ლ	SO_4^{2-} მგ/ლ	Ca^{2+} მგ/ლ	Mg^{2+} მგ/ლ	Na^+ მგ/ლ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	4	კინდრიში- ხინო	24.05.13	8.16	0.5	0,8	43,68	31,7	1,5	<0,2	6,8	1,6	1,8
2	1	” - ქობულეთი	27.05.13	8,06	14	2,6	158,13	73,2	39,7	2,0	21,0	0,7	20,63
3	6	” - ხუცუბანი	30.05.13	7,60	300	2,0	60,07	36,6	7,7	1,0	8,0	2,4	4,37
4	11	” - ხუცუბანი	04.10.13	7,88	88	2,6	89,77	58,8	8,7	2,4	9,2	1,7	8,97
5	14	” - ხუცუბანი	16.12.13	7,15	2,8	2,7	92,60	61,8	9,2	2,0	13,2	3,6	3,10
6	15	“ - ხუცუბანი	25.07.14	2	10.1	2,9	92,60	61,00	9,20	2,0	13,2	3,6	3,15
7	5	ჩაქვისწყალი - სოფ. ჩაქვისთავი	14.06.13	7,27	10	1,0	55,22	40,3	22,2	<0,2	8,8	2,8	0,92
8	2	” - ჩაქვი	27.05.13	8.30	1,3	2,8	87,40	60,5	6,9	1,2	9,2	3,4	6,20
9	7	” - ჩაქვი	30.08.13	8,10	8,4	2,6	78,50	41,5	5,0	14,4	8,8	3,8	5,6
10	10	” - ჩაქვი	04.10.13	7,89	66	2,6	89,00	61,0	5,7	3,0	8,0	2,2	9,20
11	13	” - ჩაქვი	16.12.13	8,02	14	2,8	69,60	46,4	7,1	0,4	10,0	2,1	0,50
12	16	“ - ჩაქვი	25.07.14	8.20	21.2	4,0	79,60	46,4	7,1	14,4	8,8	3,8	6,00
13	3	ჭოროხი - ერგე	27.05.13	7,70	15	2,2	174,47	109,8	7,9	14,1	28,4	5,3	8,97
14	8	” - მახო	30.08.13	7,66	19	2,7	89,28	59,0	8,0	2,0	6,4	1,9	11,96
15	9	” - მახო	04.10.13	7,80	687	3,4	140,08	85,4	5,7	11,6	20,4	6,7	10,80
16	12	” - მახო	16.12.13	8,03	60	3,8	182,60	110,0	4,0	23,1	27,6	8,3	7,60
17	17	ჭოროხი - ერგე	25.07.14	8.40	10,9	3,2	193,25	107,4	11,0	26,4	30,0	5,4	13,10

აჭარის სანაპირო ზოლის მდინარეების ძირითადი ჰიდროეკოლოგიური პარამეტრები

ცხრილი 3.

№	მდინარე- პუნქტი	სინჯის აღების თარიღი	pH	სიმღვრივე მგ/დმ3	საერთო აზოტი მგ/დმ3	საერთო ფოსფორი მგ/დმ3	ჟ.ბ.მ.5 მგ/O2/დმ3	ჟ.კ.მ. მგ/O2/დმ3
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	კინტრიში ქობულეთი	26.05.13	7,8	14	0,50	არ აღმოჩნდა	8,0	20,0
2	კინტრიში ქობულეთი	13.06.13 წ.	8,2	16	0,40	არ აღმოჩნდა	10,0	25,0
3	კინტრიში სოფ. ხუცუბანი	25.07.14 წ.	8,2	18	2,80	0.02	18,0	55,0
4	კინტრიში ჩამდ. საწ. წყალი	25.07.14წ.	8,5	25	3,00	0.02	22,0	94,0
5	ჩაქვისწყალი- ჩაქვი	13.05.13 წ.	8,0	10	0,04	არ აღმოჩნდა	5,0	10,0
6	ჩაქვისწყალი- ჩაქვი	13.06.13 წ.	8,0	30	0,06	არ აღმოჩნდა	7,0	15,0
7	ჩაქვისწყალი- ჩაქვი	04.07.13 წ.	7,4	15	0,60	არ აღმოჩნდა	10,0	20,0
8	ჩაქვისწყალი- ჩაქვი	10.09.13 წ.	6,7	10	0,70	არ აღმოჩნდა	9,0	22,0
9	ჩაქვისწყალი- ჩაქვი	07.11.13 წ.	7,8	8	0,40	არ აღმოჩნდა	12,0	22,0
10	ჩაქვისწყალი- ჩაქვი	27.07.14წ.	9,2	28	10,50	არ აღმოჩნდა	25,0	112,0
11	ყოროლის წყალი შესართავი	13.06.13 წ.	7,2	12	0,06	არ აღმოჩნდა	6,0	13,0
12	ყოროლის წყალი შესართავი	04.07.13 წ.	7,5	25	1,00	არ აღმოჩნდა	8,0	16,0
13	ყოროლის წყალი შესართავი	21.05.14წ.	7,2	16	კვალი	არ აღმოჩნდა	10,0	20,0
14	ყოროლის წყალი შესართავი	27.06.14წ.	7,5	12	კვალი	არ აღმოჩნდა	8,0	41,0
15	ბარცხანის წყალი შესართავი	13.06.13 წ.	8,0	15,0	0,15	არ აღმოჩნდა	7,0	15,0
16	ბარცხანის წყალი შესართავი	04.07.13 წ.	7,5	20,0	0,80	არ აღმოჩნდა	8,0	16,0
17	ბარცხანის წყალი შესართავი	20.02.14წ.	7,3	10,0	0,60	არ აღმოჩნდა	9,0	20,0
18	კუბის წყალი- შესართავი	04.07.13 წ.	7,4	16,0	0,50	0,02	10,0	20,0
19	ჭოროხი-ერგე	05.06.13 წ.	8,2	16,0	0,40	არ აღმოჩნდა	10,0	25,0
20	ჭოროხი-ერგე	05.11.13 წ.	8,4	გამჭვირვალე	0,50	არ აღმოჩნდა	7,0	18,0
21	ჭოროხი-ერგე	22.07.14წ.	8,6	24,0	4,50	0,1	17,0	43,0
22	ჩამდინარე წყალი ჭოროხში ინერტული მასალების სალექარიდან (ხელვაჩაური)	05.06.13 წ.	8,4	40,0	0,2	არ აღმოჩნდა	12,0	25,0
23	ჩამდინარე წყალის ინერტული მასალების სალექარიდან (ხელვაჩაური)	05.12.13 წ.	9,0	20,0	12,5	0,1	15,0	35,0
24	სამრეწველო ზონა ლერმონტოვის ქუჩიდან (ბათუმი)	05.12.13 წ.	8,0	40,0	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	9,0	18,0

მდინარის ლამის ფრაქციული შედგენილობა (მმ.) საშუალო სამი სინჯიდან (n=3)
(l=10-15 სმ)

ცხრილი 4.

№	მდინარე პუნქტი	1მმ-ზე მეტი (> 1მმ)	1.0-0.5	0.5-0.2	0.2-0.1	0.1-0.05	0.05 მმ-ზე ნაკლები (0.05 მმ. >)
1	კონტრიში - ქობულეთი	4.69	25.97	64.17	3.49	1.48	0.20
2	ჩაქვისწყალი - ჩაქვი	30.76	42.49	25.56	0.67	0.47	0.06
3	ჭოროხი- ერგე	0.00	6.38	43.31	15.16	25.09	10.08

ზოგიერთი ლითონის შემცველობა მდინარის ლამებში. საშუალო სამი სინჯიდან
(n=3)
(l=10-15 სმ)

ცხრილი 5.

№	მდინარე პუნქტი	Fe %	Mn %	Al %	Cu მგ/კგ	Zn მგ/კგ	Ni მგ/კგ	Cr მგ/კგ
1	კონტრიში - ქობულეთი	7.30	0.16	2.11	110	155	105	266
2	ჩაქვისწყალი- ჩაქვი	6.50	0.09	3.71	90	80	85	170
3	ჭოროხი - ერგე	5.52	0.07	4.99	110	155	70	120

მდ. ჭოროხის ლამის ქიმიური (სილიკატური) შედგენილობის ცვალებადობა
შესართავიდან დაცილების მიხედვით (კმ). [2]

ცხრილი № 6.

მანძილი შეერთების ადგილიდან კმ.	%							
	ხურების დანაკარგი	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
0.0	9.45	62.88	9.44	5.96	6.92	2.49	1.53	1.10
0.3	8.21	60.51	10.92	6.01	7.40	3.40	2.15	1.32
0.6	10.57	58.59	12.04	5.33	6.63	2.56	2.47	1.51
1.0	10.93	54.88	13.21	5.59	5.63	5.06	2.89	1.72
2.0	11.92	54.06	15.26	5.31	4.36	4.08	3.00	1.82

რენდგენო -სტრუქტურული ანალიზისთვის გამოყენებული ნიმუშების დახასიათება და
საიდენტიფიკაციო ნომერი

ცხრილი 7.

მდ.- პუნქტი	სინჯ.აღების თარიღი	შეწონილ. ნივთ.	ლამი
კინტრიში	30,08,13	6	3
”	04,10,13	11	-
ჩქვისწყლი - ჩაქვი	04,10,13	10	4
ჭოროხი - ერგე	30,08,13	8	5
”	04,10,13	9 ¹	-
”	04,10,13	9 ²	-
”	04,10,13	9 ³	-

მდინარის მყარი ფაზის (წყალში შეწონილი ნივთიერებები და ლამი) მექანიკური და ჰიდროლოგიური მახასიათებლები.

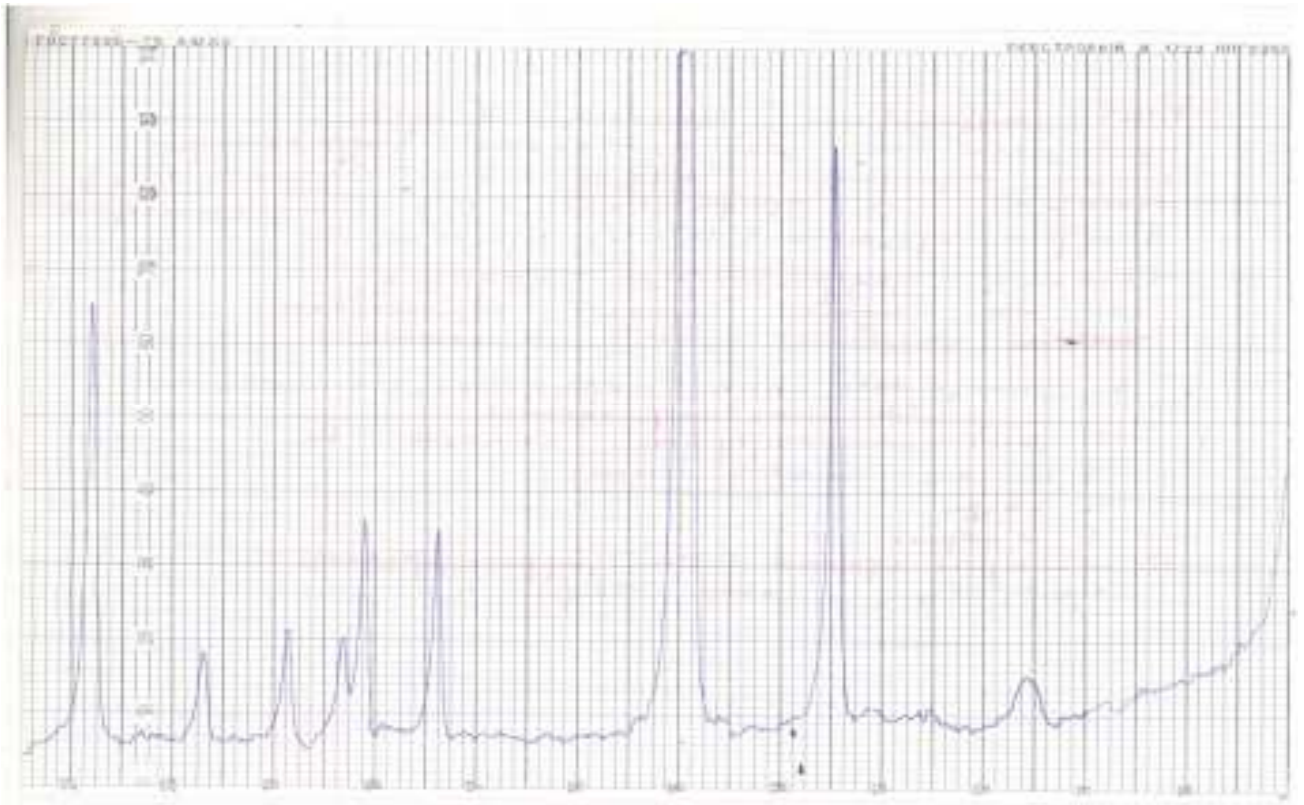
ცხრილი 8.

№	შეწონილი ნივთიერებები	ზომა (მმ.)	ჰიდრაგლიკური სიმსხო, (მმ/წამი)	ნაწილაკების დალექვის დრო(ტ) (1მ-ის სიღრმეზე)
1	კოლოიდური ნაწილაკები	$2 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-4}$	7×10^{-4}	4 წელი
2	მსუბუქი თიხა ნაწილაკები	$1 \times 10^{-1} - 5 \times 10^{-4}$	$7 \times 10^{-4} - 17 \times 10^{-5}$	0.5 –2 თვე
3	თიხა	27×10^{-4}	5×10^{-3}	2 დღე/ღამე
4	ლამი	$5 \times 10^{-2} - 27 \times 10^{-1}$	1.7–0.5	10–30 წთ
5	ქვიშა:			
	წვრილი	0.1	7	2.5 წთ
	საშუალო	0.5	50	20 წმ
	მსხვილი	1.0	100	10 წმ

მყარი ნაწილაკების სავარაუდო გადაადგილება მდინარის წყალში (გათვლილი ცხრილი 8-ის მიხედვით).

ცხრილი № 9.

ნაწილაკის ზომა (მმ.)	მეტი 2 მმ-ზე	2– 0.5	0.5–0.25	0.25– 0.05	0.05– 0.005	0.005– 0.002	0.002-ზე ნაკლები
დალექვის დრო	2 –6 წმ	6–40 წმ	1–2 წთ	2–30 წთ	1–50 სთ	2–10 დღე	10 დღეზე მეტი
მანძილი დინების მიმართულებით	4–12 მ	12–80 მ	100– 200 მ	0.2–4კმ	4– 308კმ	–	–



ნახაზი № 1. მდინარის მყარი ფაზის (შეწონილი ნივთიერება და ლამი) ფონური დიფრაქტოგრამა

აჭარის სანაპირო ზოლის მდინარეების ჰიდროქიმიური დახასიათება

ჰიდროქიმიური მონაცემებით (ცხრილი 1.2.3) აჭარის მდინარეები დაბალმინერალიზირებულ, კარბონატული კლასის, კალციუმის ტიპის წყლებს მიეკუთვნებიან. გახსნილი ნივთიერებების საერთო რაოდენობიდან წამყვანი ანიონი არის ჰიდროკარბონატ - იონი, რომლის წილი ხშირ შემთხვევაში საერთო მინერალიზაციის 45 -60 %-ს შეადგენს. წყალბად იონთა მაჩვენებელს (PH)-სა და HCO₃-იონს შორის პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულებაა.

მინერალიზაციის ცვალებადობა 43,7 მგ/ლ-იდან (კინტრიში) -193,2 მგ/ლ - ია.(ჭოროხი).

შეტვიწარებული ნივთიერებების რაოდენობა 0,5 მგ/ლ -იდან (კინტრიში) - 687 მგ/ლ - ის ზღვრებშია (ჭოროხი), და საშუალოდ 77 მგ/ლ -ია.

დასავლეთ საქართველოს სხვა მდინარეებთან შედარებით მდ. ჭოროხში ორ-სამჯერ გაზრდილია სულფატ-იონების კონცენტრაცია. ჯერ მიწისქვეშა, შემდეგ კი ზედაპირული მტკნარი წყლების გამდიდრება სულფატებით, რეგიონის მდინარეთა აუზებში სულფიდური მადნების ფართო გავრცელებით და მათი ოქსიდაციით, ასევე რეგიონის აუზის ქანების ლითოლოგიური შედგენილობის თავისებურებებით უნდა იყოს განპირობებული. სხვა მდინარეებთან შედარებით , შეინიშნება მძიმე ლითონების (სპილენძი, მანგანუმი, ნიკელი, და სხვ.) მომატებული კონცენტრაციები, როგორც გახსნილი, ასევე მყარი ფორმით.

აღნიშვნის ღირსია ის საკითხი, რომ ბოლო წლებში, ინტენსიური ჰიდრო მშენებლობების პირობებში, მდინარის ხარჯთან (როგორც თხევადი, ისე მყარი) ერთად, რამდენადმე იცვლება ელემენტთა მიგრაციის წლობით ჩამოყალიბებული და დადგენილი თანაფარდობები. (ჰიდროკარბონატს, ქლორ იონს, კალციუმსა და ნატრიუმს შორის). ამის გამო, ცალკეულ შემთხვევებში იცვლება წყლის ტიპიც და მიგრაციის ფორმაც. ანომალურობის უფრო ზუსტი ახსნა არსებული მწირი მონაცემებით შეუძლებელია. ზუსტი და სისტემატური დაკვირვება ფაქტიურად არ მოიპოვება.

მიუხედავად ორგანული ნივთიერებების ფართო სპექტრისა, ცალკეული მათგანის შემცველობა ბუნებრივ წყლებში, მცირეა [3] . აქედან გამომდინარე, მათი განსაზღვრაც გარკვეულ სიძნელეებთანაა დაკავშირებული. მათ ჯამურ რაოდენობაზე წარმოდგენას იძლევა პერმანგანატული ჟანგვადობის და ჟანგბადის ქიმიური მოხმარების მნიშვნელობები. როგორც ცხრილებიდან ჩანს (ცხრ.2.3.), აჭარის მდინარეებში პერმანგანატური ჟანგვადობები ნორმის ფარგლებშია და 0.2 – 5,0 მგ O/ლ-ის ზღვრებში იცვლება.

შეიძლება ითქვას, რომ 2013- 2014 წწ . შუალედში შავ ზღვაში ჩამდინარე ძირითადი მდინარეების წყლის ეკოლოგიური მდგომარეობა კარგია და ძირითადი ჰიდროეკოლოგიური პარამეტრები არ აღემატება ზღვრულად დასაშვებ ნორმებს. შეინიშნება პერიოდული დარღვევები ყოროლისწყალსა და ბარცხანასთან, რაც

საწარმოო და საყოფაცხოვრებო ნარჩენების ჩადინებით უნდა იყოს გამოწვეული. (ცხრილი 2).

დიფრაქტომეტრზე ДРОН -1,5, (სპილენძის ანოდით და გრაფიტის მონოქრომატორით) ჩატარდა შერჩეული მყარი ფაზის (7 შეწონილი ნივთიერება და 3 ლამი, სულ 10 ნიმუში, ცხრილი 7). რენდგენო-ფაზური ანალიზი.

მდ.ჭოროხის წყლიდან საანალიზოდ გამოყენებული (N9) ნიმუში წინასწარ ფრაქციონირებული იქნა დაყოვნების მეთოდით (სტოქსის კანონი) მძიმე 9¹ (პირველი), საშუალო 9² (მეორე), და მსუბუქ 9³ (მესამე) ფრაქციებად.

აღმოჩნდა, რომ ტივტივა ნატანის საერთო რაოდენობის (687 მგ/ლ) 95,05 % მძიმე ფრაქციაზე მოდიოდა, 3,93 % საშუალო ფრაქციაზე, და მხოლოდ 1,02 % იყო მსუბუქი, ე.წ. კოლოიდური ფრაქცია.

როგორც დიფრაქტოგრამების ანალიზმა აჩვენა, ყველა ნიმუშს აქვს თითქმის ერთნაირი ფაზური შემადგენლობა (ნახაზი 1), რაც რეგიონის მცირე მასშტაბით და მსგავსი ლითოლოგიური შემადგენლობით უნდა იყოს განპირობებული.

- კერძოდ:
1. დისპერსიული, ცუდად დაკრისტალეზებული კალციუმის მონტმორილონიტი
 2. რკინის რენდგენოამორფული ჟანგები;
 3. კალციუმის და ნატრიუმის მინდვრის შპატი ;
 4. კვარცი ;
 5. ქლორიტი .

ზოგიერთ ნიმუშში გვხვდება ქარსი (N 3-კინტრიში ლამი. და N 9¹, ჭოროხი შეწონილი ნივთიერება, მსხვილი ფრაქცია), და ამფიბოლი (N 4 , ჩაქვისწყალი - ლამი). შეიძლება ითქვას, რომ მდინარე ჭოროხის ლამში (N5) კინტრიშთან (N 3) და ჩაქვისწყალთან (N4) შედარებით მომატებულია მინდვრის შპატებისა და კვარცის შემცველობა. ამასთან, მდინარეთა შეტივნარებული ნივთიერებები შესაბამის (თავისსავე) ლამებთან შედარებით, 2-ჯერ მეტ კვარცს და მინდვრის შპატს შეიცავენ. მდ. ჭოროხის შეწონილი ნივთიერებების (N 8) და ლამი (N 5), ნატანი №6, და ლამი №6, ნატანი №10 და ლამი №4

დიფრაქტოგრამების შედარებიდან ჩანს, რომ ნიმუშებში ნაწილაკების ზომის შემცირებასთან ერთად, კვარცისა და მინდვრის შპატების წილი იზრდება, თიხა - ნაწილაკების კონცენტრაცია კი მცირდება. გამოვლენილი კანონზომიერებები ასახვას პოულობენ (ცხრილი 4,5,6)-ის შედეგებშიც.

მდ. კინტრიში სათავეს იღებს მესხეთის ქედზე. მისი სიგრძე 45 კმ-ია, ზღვას ერთვის ქობულეთის სამხრეთ პერიფერიის ფარგლებში. წყალშემკრები აუზის ფართობი 291 კმ²-ია, წყლის ხარჯი 0.527 კმ³-ს შეადგენს, ხოლო მყარი ნატანის რაოდენობა- 22 300 ტ-ს. კალაპოტი და ნაპირები წარმოდგენილია რიყნარით. მდინარის ზემო დინება საკმაოდ სწრაფია და წყლის ტემპერატურა შედარებით დაბალია.

ჟანგბადის შემცველობა 11 და 12 მგ/ლ (გაჯერება – 143 და 159 %), ფოტოსინთეზით გამოწვეული ჰიპეროქსიგენაციის შედეგი უნდა იყოს, ვინაიდან მდინარის ფსკერი დაფარულია წყლის მცენარეებით.

მდ. კინტრიშის წყალშემკრები აუზიც, მდ.მდ. ნატანებისა და ჩოლოქის მსგავსად, აჭარა–თრიალეთის ნაოჭა სისტემის ნაწილია და აქედან გამომდინარე, აღნიშნულ მდინარეებს ემსგავსება როგორც გრანულომეტრიული ფრაქციული შემადგენლობით, ასევე ლითონების შემცველობით. მათ ფსკერულ ნალექებში წამყვანი ადგილი უჭირავს 0.5-0.2 მმ ფრაქციას.

მდინარის ფსკერული ნალექებისათვის დამახასიათებელია რკინის შემცველობა 7 %-ზე მეტი, ქრომის შემცველობა 300 მგ/კგ ფარგლებში და თუთიის შემცველობა 100 მგ/კგ ფარგლებში შედეგებიდან ჩანს, რომ მდ. კინტრიშის როგორც წყლის, ასევე ფსკერული ნალექების შედგენილობა სტაბილურია და მისი მერყეობა ბუნებრივი პროცესებით აიხსნება.

მდ. კინტრიშის წყალში ნავთობის ნახშირწყალბადების არსებობა არ აღინიშნება, 2010 წლის კვლევის შედეგებით კი მათი შემცველობა 2.5-ჯერ აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას. ფსკერულ ნალექებში 2009 წელს მათი შემცველობა არ დაფიქსირდა, ხოლო 2008 და 2010 წლებში კვალის სახით აღინიშნებოდა, შესაბამისად 2.8 და 4.6 მგ/კგ [4]. რაც უმნიშვნელო ლოკალურ დაბინძურებაზე მიუთითებს.

მდ. ჩაქვისწყალი სათავეს იღებს მესხეთის ქედის სამხრეთ-დასავლეთ ფერდზე, მისი სიგრძე 22 კმ-ია. მდინარე მოედინება დიდი სიჩქარით, წყალი გამჭვირვალე, კამკამა და ცივია. მინერალიზაცია მცირეა 70 - 80 მგ/ლ, ტემპერატურა დაახლოებით 20°C. წყლის კარგი აერაციის გამო გახსნილი ჟანგბადის შემცველობა ნორმის ფარგლებშია (9-11 მგ/ლ, გაჯერება 110-123 %).

ძირითადი იონების შემცველობიდან ჩანს, რომ მდინარის წყალი კალციუმიან-ჰიდროკარბონატული ტიპისაა.

მდინარის კალაპოტში წარმოდგენილია მსხვილი მასალა–ლოდებით და კაჭარით, ასევე წვრილმარცვლოვანი მასალა–ქვიშებით და ლამებით. მდ. ჩაქვისწყლის წყალშემკრები აუზი იგივე გეოლოგიურ ფორმაციას განეკუთვნება, რასაც მდინარეების: ნატანები, ჩოლოქი, კინტრიში, სუფსა, თუმცა ფსკერული ნალექების გრანულომეტრიული მახასიათებლები, ზემოთ ჩამოთვლილი მდინარეებისაგან განსხვავებულია.

ფსკერული ნატანი ძირითადად კენჭოვანი მასალისაგან შედგება, 2.0 მმ-ზე მსხვილი მასალის შემცველობა საწყის ნიმუშში 55.77 %-ის ტოლია, 0.2 მმ-ზე უფრო წვრილმარცვლოვანი მასალის შემცველობა 1%-ს შეადგენს. მიუხედავად ამისა, მდ.მდ. კინტრიშისა და ჩოლოქის ფსკერული ნალექები, მდ. ჩაქვისწყლის ფსკერული ნალექებისაგან ლითონების შემცველობით, მნიშვნელოვნად არ განსხვავდება

მდ. ყოროლისწყალი რეგიონის მცირე მდინარეთა რიცხვს განეკუთვნება. მისი

სიგრძე 29.5 კმ-ია. მდინარე ქ. ბათუმის საზღვრებში მოედინება და ზღვას ერთვის ე.წ. “ბენზეს” რაიონში, მჭიდროდ დასახლებულ საცხოვრებელ კვარტალში. ნაპირები ძალიან დაბინძურებულია საყოფაცხოვრებო ნარჩენებით და კანალიზაციის წყლებით. მდინარის დინება საკმაოდ სწრაფია. წყლის მინერალიზაცია დაბალია (74 - 79 მგ/ლ). წყლის აერაციის მაღალი ხარისხის გამო, გახსნილი ჟანგბადის შემცველობა 9-10 მგ/ლ-ს შეადგენს.

კალაპოტი და ნაპირები წარმოდგენილია კაჭარით. მსხვილმარცვლოვანი მასალის (> 2.0 მმ) შემცველობა საწყის ნიმუშში 61.9 %-ს შეადგენს. ფსკერული ნალექების გრანულომეტრიული სპექტრი მსხვილმარცვლოვანი მასალისკენაა გადახრილი. 0.2 მმ-ზე ნაკლები მასალის შემცველობა ჯამში 7 %-ს აღწევს. ფსკერულ ნალექებში ლითონების შემცველობა აჭარა-თრიალეთის ზონის სხვა მდინარეების მსგავსია

ლითონების შემცველობა მდ. ყოროლისწყლის ფსკერულ ნალექებში

Ni, მგ/კგ	Cu, მგ/კგ	Zn, მგ/კგ	As, მგ/კგ	Cr, მგ/კგ	Fe, %	Mn, %	Al, %	Co _{ორგ} , %
65	75	100	2.6	339.5	6.60	0.125	4.24	0.44
95	55	92.5	2.5	341.5	5.70	0.097	-	-

მდინარის ნაპირებზე არასახარბიელო ეკოლოგიური სიტუაციაა: წყლის ზედაპირზე კარგად ჩანს ჩაღვრილი ნავთობის ლაქები, აგრეთვე საყოფაცხოვრებო მყარი ნარჩენები: მინის, ლითონის ნამსხვრევები, ტექსტილის ნარჩენები, პლასტმასის ნივთები და სხვა. მდინარის წყალში ხვდება საკანალიზაციო წყლები. აქედან გამომდინარე, ცხადია, რომ ადგილი აქვს მუნიციპალურ დაბინძურებას.

მდ. ყოროლისწყალი ბათუმის ტერმინალის ზონაში, კაპრემუმის მონაკვეთის სამხრეთით მიედინება და შესაბამისად მასში ნავთობის ნახშირწყალბადების არსებობა შესაძლებელია ამ ფაქტით იყოს განპირობებული. ასევე აღსანიშნავია მდინარის საყოფაცხოვრებო ნარჩენებით დაბინძურების საკმაოდ მაღალი ხარისხი

ნავთობპროდუქტების შემცველობა მდ. ყოროლისწყლის წყალში და ფსკერულ ნალექებში

ნიმუშის დასახელება	ზ.დ.კ.	2008.08	2010.09
წყალი, მგ/ლ	0.3	0.51	0.92
ფსკერული ნალექები, მგ/კგ	-	4.8	21.0

მდინარის ქვემოწელში მკვეთრად გამოხატული ურბანული დაბინძურება შეინიშნება, რომლის წყაროც მჭიდროდ დასახლებული საცხოვრებელი უბანია

მდ. ჭოროხი შავი ზღვის აუზის უდიდეს მდინარეთა რიცხვს განეკუთვნება. (ცხრილი 1)

წყალშემკრები აუზი მოიცავს ანატოლიის ზეგნის ჩრდილო-აღმოსავლეთ ნაწილს და აჭარა-თრიალეთის უკიდურეს სამხრეთ-დასავლეთ დაბოლოებას. მდინარის სიგრძე 438 კმ-ს შეადგენს, საქართველოს ტერიტორიაზე ხვდება მისი ქვემო დინების ბოლო 26 კმ. აუზის საშუალო სიმაღლე ზღვის დონიდან 1530 მ-ია.

სხვა მდინარეებისაგან განსხვავებით, დაბალი მინერალიზაციის ფონზე მდ. ჭოროხის წყლისათვის დამახასიათებელია სულფატების შედარებით მაღალი შემცველობა (ცხრილი, 2 3.), რაც კოლჩედანური საბადოების სულფიდური მინერალების დაჟანგვას და სულფატების გამოტუტვას უკავშირდება.

მდინარის კალაპოტში ძირითადად ლოდები და კაჭარია წარმოდგენილი. გრანულომეტრიული ფრაქციული ანალიზის შედეგები მოწმობს, რომ ფსკერული ნალექები ძირითადად 0.5-0.2 მმ ფრაქციისაგან შედგება, თუმცა გრანულომეტრიული სპექტრი გადაწეულია მსხვილმარცვლოვანი ფრაქციებისაკენ რაც შეეხება ლითონებს, განსაკუთრებით მაღალი შემცველობით და კონცენტრაციის დიდი დიაპაზონით გამოირჩევა სულფიდური ჯგუფის ელემენტები: Cu, Zn, As. მცირე ზღვრებში იცვლება Mn და Ni შემცველობა. ანალიზის შედეგების მიხედვით გამოიყოფა ლითონების ორი ჯგუფი, რომელთაც ახასიათებთ მაღალი დადებითი კორელაცია: სულფიდური მინერალების ელემენტები Cu/Zn/As და რკინის ჯგუფის ელემენტები Fe/Mn.

ლითონების შემცველობაში შესამჩნევი სხვაობის მიუხედავად შენარჩუნებულია ელემენტების ურთიერთდამოკიდებულების ხასიათი. ტივტივა ნატანში ფსკერულ ნალექებთან შედარებით გაზრდილია Cu, Zn და Cr შემცველობა.

ლითონების შემცველობა მდ. ჭოროხის ტივტივა ნატანში

წ/წ	Ni, მგ/კგ	Cu, მგ/კგ	Zn, მგ/კგ	Cr, მგ/კგ	Fe, %	Mn, %
1996.06	-	508	120	-	3.30	0.068
2008.08.	38	192	153	286	3.75	0.080
2014.06	-	118	283	-	9.69	0.402

შედეგებიდან ჩანს, რომ მიკროელემენტების შემცველობა დიდ დიაპაზონში ვარირებს და ძნელია რაიმე კანონზომიერების ჩამოყალიბება.

2013 – 2014წწ წლების მონაცემებით, მდ. ჭოროხის წყალში და ფსკერულ ნალექებში ნავთობის ნახშირწყალბადების არსებობა არ აღინიშნება. მიღებული შედეგები მიუთითებს, რომ მდ. ჭოროხის ეკოსისტემა საკმაოდ დამაბულ ეკოლოგიურ სიტუაციაში იმყოფება. ერთის მხრივ, მდინარის დარეგულირების შედეგად მის ქვემო დინებაში შეცვლილი მყარი ნატანის მოცულობები სავარაუდოდ გამოიწვევს ზღვის სანაპირო ზონაში მყარი ნატანის ბალანსის დარღვევას. აღნიშნული ზემოქმედება

გარკვეულ რისკს შეიცავს სანაპირო ზონის მდგრადობასთან დაკავშირებით და გარკვეულ ქმედებებს მოითხოვს. მდ. ჭოროხის ნატანში მადნის კომპონენტების მაღალი შემცველობის გავლენით უკვე მრავალი წელია სულფიდური ელემენტების ბუნებრივი ფონი მდინარის შესართავის მიმდებარე წყალქვეშა ფერდზე მომატებულია. რა თქმა უნდა, ეს ფაქტორი არ ატარებს კატასტროფის ხასიათს და მდინარის და ზღვის წყლის ხარისხზე პირდაპირ არ აისახება, რადგან სულფიდური ელემენტების დაჟანგვის პროცესი წყალქვეშ მიმდინარეობს, წარმოქმნილი ნაერთები - მძიმე ლითონების ჰიდროქსიდები და მარილები ძნელად ხსნადია და სედიმენტაციურ პროცესებში მონაწილეობს.

თვალში საცემია ის მდგომარეობა, რომ მდ. ჭოროხის წყალში შეწონილი ნივთიერებების რაოდენობა, წყლის და მყარი ნატანის ხარჯი მრავალწლიან ნორმასთან შედარებით საგრძნობლად შემცირებულია .პროექტის ფარგლებში ჩატარებული დაკვირვება, (რომელსაც ინტენსიობიდან გამომდინარე ვერ ექნება პრეტენზია აბსოლიტურობაზე,) აჩვენებს, (ცხრილი 2,3,). რომ ამ პარამეტრებით ის ხშირად მცირე მდინარეებსაც კი ჩამორჩება. შექმნილ სიტუაციაზე წარმოდგენას გვაძლევს ტივტივა ნატანის ცვალებადობის ზღვრები: ერგეში იგი იცვლება გამჭვირვალედან - 687 მგ/ლ-მდე, სახეზე გვაქვს წლებით ჩამოყალიბებული წონასწორობის დარღვევა ელემენტთა მიგრაციის ფორმებშიც.

ელემენტთა მიგრაციის ფორმებშიც.

ლიტერატურა:

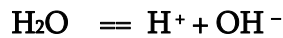
1. Супаташвили Г. Д. – Гидрохимия Грузии. Из. ТГУ Тбилиси, 2003 г.
2. ნ. გოლიაძე - საქართველოს მდინარეების მყარი ფაზის ქიმიური ბუნება. გამც. "მერიდიანი", თბილისი 2009 წ.
3. მახარაძე გიორგი- ბუნებრივი წყლებიდან გამოყოფილი ფულვომჟავების გამოკვლევა და მათი ნაერთები მძიმე ლითონებთან. სადოქტორო დისერტაცია. თბილისი 2003 წ.
4. ბენაშვილი ნინო - " შვი ზღის საქართველოს სექტორის ეკოქიმიური საკითხები" თბილისი 2012 წელი.

წყლის ჰიდრო-ეკოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდები

1. pH-ის განსაზღვრა

pH-ის განსაზღვრა (წყალბად-იონთა კონცენტრაციის განსაზღვრა)

წყლის მოლეკულის მხოლოდ უმნიშვნელო ნაწილია დისოცირებული წყალბად და ჰიდროქსილ იონებად. ქიმიურად სუფთა წყალში ამ იონების მოლური კონცენტრაციები თანაბარია და თითოეული შეადგენს 10^{-7} მოლი/ლ-ს. მათი იონური ნამრავლი კი მუდმივი სიდიდეა და 10^{-14} -ს უტოლდება.



$$[\text{H}^+]. [\text{OH}^-] = 10^{-7} \cdot 10^{-7} = 10^{-14}$$

იონური ნამრავლის სიდიდის მუდმივობა შენარჩუნებულია ხსნარებშიც, ანუ სხვა ნივთიერებების არსებობისასაც, როცა ისინი ხსნარში დისოცირებისას თავადაც წარმოქმნიან წყალბადის და ჰიდროქსილის იონებს. საკმარისია ხსნარში განისაზღვროს ერთ-ერთი მათგანი, და ამ დამოკიდებულებიდან გაითვლება მეორე.

ხსნარში წყალბად-იონების კონცენტრაცია დაბალია და ღებულობს რამდენიმე რიგით განსხვავებულ მნიშვნელობებს. პრაქტიკული მოსაზრებების გამო, მიღებული იქნა მისი გამოსახვა წყალბადური მაჩვენებლის, P^{H} -სახით. წყალბადური მაჩვენებელი რიცხობრივად გამოსახავს წყალბად-იონის კონცენტრაციის ლოგარითმს უარყოფითი ნიშნით.

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{P}^{\text{H}}}; \quad \text{P}^{\text{H}} = -\lg [\text{H}^+]$$

წყალბად-იონის კონცენტრაციის განსაზღვრა ხდება 1 დან 10^{-14} მგ. ექვ /ლ-ის ფარგლებში. რაც შეეხება P^{H} -ის მნიშვნელობას, 0-იდან 14-მდე.

$\text{P}^{\text{H}} = 7$ - აღნიშნავს ნეიტრალური ხსნარის მდგომარეობას;

$\text{P}^{\text{H}} < 7$ - აღნიშნავს მჟავა გარემოს;

$\text{P}^{\text{H}} > 7$ - მიუთითებს ტუტე გარემოზე.

უმეტეს ბუნებრივ წყლებში წყალბად-იონების კონცენტრაცია განპირობებულია ხსნარში თავისუფალი ნახშირორჟანგისა და ბიკარბონატის თანაფარდობით. ამ შემთხვევაში არის წყალბადური მაჩვენებელი - P^{H} იცვლება 4,5-დან 8,3-დე. ბუნებრივი წყლის P^{H} -ზე გავლენა შეიძლება მოახდინოს ჰუმინის მჟავების, ფუძე კარბონატებისა და ჰიდროქსიდების კონცენტრაციის მატებამ (აუზში გაძლიერებული ფოტოსინთეზის, ან ანტროპოგენური ფაქტორების გამო).

წყალბადურ მაჩვენებელს ზომავენ კოლორიმეტრული და ელექტრომეტრული მეთოდებით. ეს უკანასკნელი უფრო ზუსტია და დაფუძნებულია განსაზღვრავ ელექტროდზე წარმოქმნილი პოტენციალის გაზომვაზე.

ხსნარის P^{H} ასევე შეიძლება გათვლილი იქნას თეორიულადაც, თუ გვეცოდინება საკვლევ ხსნარში HCO_3^- , CO_3^{--} - ის და CO_2 -ს კონცენტრაციები მგ/ლ-ით

საველე პირობებში P^{H} -ის მიახლოებითი მნიშვნელობის განსაზღვრისათვის ვიყენებდით უნივერსალური ინდიკატორის ქაღალდს (კოლორიმეტრული მეთოდი). სინჯით

დასველებული ქაღალდის შეფერილობას ვადარებდით შეფერილობის საკონტროლო შკალას. (ცხრილს)

ლაბორატორიულად P^H -ის გაზომვას ვახდენდით ელექტრომეტრული მეთოდით. იგი დაფუძნებულია იმ ფაქტზე, რომ მინის (განსასაზღვრავი) ელექტროდის გამოყენებისას, ხსნარში P^H -ის მნიშვნელობის ერთი ერთეულით ცვალებადობა იწვევს ელექტროდის პოტენციალის 58,1 მვ-ით შეცვლას ($20^{\circ}C$), რაც სათანადოდ აისახება ხელსაწყოს (პეაშმეტრის) შკალაზე.

აპარატურა.

1. ლაბორატორიული პეკაშ მეტრი (პოტენციომეტრი), შესადარებელი (კალომელის) და განსასაზღვრავი (მინის) ელექტროდებით.
2. ქიმიური ჭიქა $v = 50$ მლ.
3. ფილტრის ქაღალდი

რეაქტივები.

1. ბუფერული ხსნარი $P^H = 6,98$ ($20^{\circ}C$)
2. ბუფერული ხსნარი $P^H = 9,22$ ($20^{\circ}C$)

ანალიზის მსვლელობა

დაკალიბრების შემდეგ გაზომვის დაწყების წინ, ელექტროდებს ჩავრეცხავთ გამოხდილი წყლით, შემდეგ საანალიზო ხსნარით. შემდგომ ელექტროდებს ვუშვებთ ჭიქაში მოთავსებულ საკვლევ სინჯში ისე, რომ ელექტროდები არ ეხებოდეს ჭიქის კედლებს და ფარავდეს მას 2–3 სანტიმეტრზე. ვრთავთ ხელსაწყოს სავარაუდო მნიშვნელობების შესაბამის შკალის ინტერვალს. ჩვენებას ვაკვირდებით სტაბილურ ჩვენებამდე და ვიღებთ ანათვალს, 05 ერთეულის სიზუსტით.

1. წყალში გახსნილი ჟანგბადის განსაზღვრა

მეთოდის პრინციპი. წყალში ტუტის და მანგანუმის (II) ქლორიდის შეტანისას, მყისიერად ხდება მანგანუმის (II) ჰიდროქსიდის წარმოქმნა, რომელიც წყალში გახსნილი ჟანგბადით იჟანგება მანგანუმის (III) ჰიდროქსიდამდე. მარილმჟავას დამატებისას ის იხსნება და წარმოიქმნება არამდგარი მანგანუმის (III) ქლორიდი, რომელიც იშლება მანგანუმის (II) ქლორიდად და თავისუფალ ქლორად Cl_2 . კალიუმის იოდიდის დამატებისას (KI) ხდება იოდიდში იოდ–იონის ქლორიდ–იონით ჩანაცვლება და თავისუფალი იოდის გამოყოფა. გამოყოფილი იოდის რაოდენობა წყალში ჟანგბადის რაოდენობის ექვივალენტურია. გამოყოფილი იოდი თიოსულფატით ისაზღვრება:

$Mn^{2+} + 2OH^- = Mn(OH)_2$ თეთრი ნალექი

$4Mn(OH)_2 + O_2 + 2H_2O = 4Mn(OH)_3$ ყავისფერი ან $2Mn(OH)_2 + O_2 \rightarrow 2MnO(OH)_2$

$Mn(OH)_3 + 3H^+ + 2I^- = Mn^{2+} + I_2 + 3H_2O$

$I_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2I^- + S_4O_6^{2-}$ ამ დაჟანგვა–აღდგენის რეაქციაში თიოსულფატის მოლეკვივალენტი თიოსულფატის მასის ტოლია

რეაქტივები:

მანგანუმის (II) ქლორიდი– 40 გ $MnCl_2$ ვხსნთ 100მლ გამობდილ წყალში და ვფილტრავთ; კალიუმის იოდიდის ტუტე ხსნარი–32გ კალიუმის ან ნატრიუმის ტუტეს და 10 გ კალიუმის იოდიდს ვხსნით 100მლ გამობდილ წყალში.

მარილმჟავა 2:1 ან გოგირდმჟავა 1:4

0,01N ნატრიუმის თიოსულფატი–2,5გ $Na_2S_2O_3$ ვხსნით ერთ ლიტრ გამობდილ წყალში. რადგან თიოსულფატი დროში არამდგრადია, უმჯობესია მისი ახლად დამზადებული ხსნარის გამოყენება და შეცდომის თავიდან ასაცილებლად, გატიტვრის წინ მისი ზუსტი ნორმალობის დადგენა

ინდიკატორი–კრახმალი. ერთ გრამ კრახმალს ან კარტოფილის ფქვილს ვხსნით 20მლ ცივ გამობდილ წყალში, ვუმატებთ 80 მლ ცხელ წყალს და რამდენიმე წუთი ვადულებთ.

ანალიზის მსვლელობა.

საანალიზო წყალს 100–200მლ ვიღებთ ისე, რომ საცობსა და წყალს შორის არ იყოს ჰაერი ანუ თავისუფალი სივრცე და სწრაფად ვიწყებთ ჟანგბადის ფიქსაციას. ამისათვის ყოველ ნიმუშს პიპეტით, ჭურჭლის ქვედა დონეზე, ვუმატებთ 1მლ მანგანუმის ქლორიდს და 1მლ კალიუმის იოდიდის ტუტე ხსნარს. ჭურჭელს საცობს ვუკეთებთ და ენერგიულად ვანჯღრევთ. თუ სინჯში ბევრი გახსნილი ჟანგბადი იყო, სინჯი გამუქდება, თუ ცოტა–ფერს არ შეიცვლის. ფიქსაციის შემდეგ ჭურჭლის ფსკერზე, პიპეტით ვუმატებენ 2მლ მარილმჟავას, ან 3მლ გოგირდმჟავას. ჭურჭელს ისევ ვუკეთებთ საცობს და ვანჯღრევთ. ამის შემდეგ ვიწყებთ გატიტვრას. ამისათვის ხსნარის ფერის მიხედვით ვიღებთ 20,50 ან 100 მლ საანალიზო ხსნარს და ვტიტრავთ თიოსულფატით, ბაცფერამდე, მერე ვუმატებთ რამდენიმე წვეთ კრახმალს და ლურჯი ხსნარის გაუფერულებამდე ვტიტრავთ.

განგარიშება $O_2 = N_1 V_1 \cdot 8.1000 / (V - V_2)$ მგ/ლ

სადაც $V_1 N_1$ თიოსულფატის ნორმალობა და გატიტვრაზე დახარჯული მისი მოცულობაა. V – საანალიზოდ აღებული წყლის მოცულობა (20, 50 ან 100მლ). V_2 –მანგანუმის ქლორიდის და ტუტის ხსნარის მოცულობა. 8 ჟანგბადის ექვივალენტი

თიოსულფატის ზუსტი ნორმალობის დადგენა.

ვიღებთ 10მლ 0,01 N KIO_3 , ვხსნით მასში 0,5 გ KI ფხვნილს, მერე ვუმატებთ 2 მლ მარილმჟავას და ვტიტრავთ თიოსულფათი, როგორც ეს წინა ანალიზშია აღწერილი $N_1 V_1 = N_2 V_2$

$N_1 = N_2 V_2 / V_1$ სადაც $N_1 V_1$ თიოსულფატის ნორმალობა და გატიტვრაზე დახარჯული მოცულობაა, $N_2 V_2$ კალიუმის იოდატის ნორმალობა და მოცულობა.

2. წყლის ჟანგვადობის განსაზღვრა

ამ სისდიდის მიხედვით მსჯელობენ წყალში ორგანული ნივთიერებების საორენტაციო რაოდენობაზე. დამჟანგველის გამოყენების მიხედვით არჩევენ პერმანგანატურ და ბიქრომატულ ჟანგვადობას. ბიქრომატული უფრო სრულია. ჟანგვადობა გამოისახება მგ O/ლ–ში/.

პერმანგანატული ჟანგვადობა.

რეაქტივები:

1. $KMnO_4$ - 0.01 N

2. $H_2C_2O_4$ - 0.01 N

3. H_2SO_4 - 1:4 განზავებული

ანალიზის მსვლელობა:

100 მლ საკვლევ წყალს დავემატოთ 5 მლ H_2SO_4 და 10 მლ $KMnO_4$. ვადულოთ 10 წთ. თუ გაუფერულდება, კიდევ 10 მლ $KMnO_4$. ცხელ ხსნარს დავემნატოთ 10 მლ $H_2C_2O_4$ და გავტიტროთ $KMnO_4$ -ით სუსტი ვარდისფერის მიღებამდე.

$$O_{\text{მგ/ლ}} = (N_1 V_1 - N_2 V_2) \cdot 8.1000 / V$$

სადაც:

V – საანალიზო წყლის მოცულობა;

V_1 – პერმანგანატის ჯამური მოცულობა;

V_2 – მჟუნმჟავას მოცულობა;

N_1 და N_2 – პერმანგანატის და მჟუნმჟავას ხსნართა ნორმალობები.

8 – ჟანგბადის ეკვივალენტი.

ბიქრომატული ჟანგვადობა (ქიმიურად მოხმარებული ჟანგბადი)

რეაქტივები:

1. $K_2Cr_2O_7$ - 0,25 N;

2. H_2SO_4 - კონცენტრირებულ ;

3. მორის მარილი – 0,25 N;

4. ფეროინი.

ანალიზის მსვლელობა:

100 მლ – იან კოლბებში შევიტანოთ 50 მლ სინჯი, დავემატოთ 1 მლ კალიუმის ბიქრომატი და 25 მლ გოგირდმჟავა, ვადულოთ წყლის აბაზანაზე 10 წთ. ამასთან ჩავატაროთ ბრმა ცდა ბიდისტილატზე. ხსნარები გავაცოთ, შევავსოთ 100 მლ – მდე ბიდისტილატით და გავტიტროთ მორის მარილის ხსნარით, ალიქვოტი – 10 მლ, ინდიკატორი – ფეროინი (0,2 მლ). წითელი შეფერილობა გადადის მწვანეში.

$$O_{\text{მგ/ლ}} = N(V_1 - V_2) \cdot 8.1000 / 50$$

სადაც:

V_1 და V_2 – ბრმა ცდაზე და სინჯის გატიტვრაზე დახარჯული ტიტრანტის მოცულობა;

N – მორის მარილის ნორმალობა;

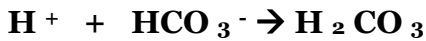
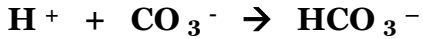
8 – ჟანგბადის ეკვივალენტი.

3. ტუტიანობა

ტუტიანობის ქვეშ, იგულისხმება წყლების უნარი გაანეიტრალონ ძლიერი მჟავა. ტუტიანობა აღინიშნება **Alk**. მისი განზომილებაა მმოლ/ლ. იგი კარბონატული, ჰიდროკარბონატული, ბორატული, ფოსფატური და ჰიდროსულფიდური ტუტიანობების ჯამს წარმოადგენს:

$$Alk_{\text{საერთო}} = [HCO_3^-] + 2 [CO_3^{2-}] + [H_3BO_3] + [HSiO_3^-] + [H_2PO_4^-] + [HPO_4^{2-}] + [HS^-] + [OH^-] - [H^+]$$

დიდი ალბათობით შეიძლება ითქვას, რომ მტკნარი წყლების საერთო ტუტიანობა ძირითადად ჰიდროკარბონატული (HCO_3) ტუტიანობითაა განპირობებული, ანუ საერთო ტუტიანობა დაახლოებით ჰიდროკარბონატული ტუტიანობის ტოლია. ოკეანებში და ზღვებში საერთო ტუტიანობა ჰიდროკარბონატული და კარბონატული ტუტიანობის ჯამის ტოლია (HCO_3+CO_3). ამიტომ ტუტიანობის განსაზღვრის ეკვივალენტურ წერტილად მიჩნეული ის მჟავიანობა როდესაც წყალში ჰიდროკარბონატ-იონი აღარაა. ანუ სხვანაირად რომ ვთქვათ კარბონატ-იონიც და ჰიდროკარბონატ-იონიც ნახშირმჟავადაა ქცეული.



აქედან გამომდინარე ცხადია რომ ჰიდროკარბონატის განსაზღვრისას მიღებული შედეგით, შეგვიძლია გამოვსახოთ წყლის ტუტიანობაც ოღონდ მგ/ლ-ში.

მაგ. თუ ჰიდროკარბონატის რაოდენობაა 100მგ/ლ-ია ჰიდროკარბონატული ტუტიანობაც და საერთო ტუტიანობაც იქნება 100მგ/ლ.

დასავლეთში ტუტიანობას კალციუმის კარბონატის მიხედვით ანგარიშობენ და ასევე დაკალიბრებული ხელსაწყოებიც 1 მოლი CaCO_3 შეესაბამება ერთი მოლი $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ანუ 100გ კალციუმის კარბონატს შეესაბამება $2 \times 61 \text{g} = 122 \text{g}$ ჰიდროკარბონატ-იონი აქედან ადვილია გადასაყვანი ფორმულის გამოყვანა: **ბიკარბონატული ტუტიანობა გამოსახული HCO_3^- სახით (მგ/ლ)=1.22 გამრავლებული CaCO_3 სახით გამოსახულ ბიკარბონატულ ტუტიანობაზე (მგ/ლ)**

მაგალითად თუ ბიკარბონატული ტუტიანობა HCO_3^- -ით გამოსახული ტოლია 100 მგ/ლ, CaCO_3 -ში გამოსახული ტოლი იქნება 100/1,22 მგ/ლ

თუ ხელსაწყო პასუხს იძლევა ტუტიანობაზე CaCO_3 მიხედვით, ამ სიდიდის 1,22 გამრავლებით მივიღებთ ჰიდროკარბონატის რაოდენობას მგ/ლ-ში

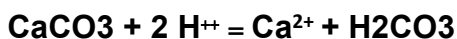
თუ კარბონატ-იონსაც ვსაზღვრავთ, მაშინ კარბონატული ტუტიანობა იქნება კარბონატ-იონის კონცენტრაციის ტოლი და რადგან 100 გ CaCO_3 შეესაბამება 60 გ CO_3^{2-}

კარბონატული ტუტიანობიდან კალციუმის კარბონატით გამოსახულ ტუტიანობაზე გადასათვლელი ფორმულა ასეთ სახეს მიიღებს:

ტუტიანობა გამოსახული CO_3^{2-} -ში (მგ/ლ) =0,6 გამრავლებული CaCO_3 -ით გამოსახულ ტუტიანობაზე(მგ/ლ).

ასეთი წყლებისათვის საერთო ტუტიანობა ჰიდროკარბონატული და კარბონატული ტუტიანობის ჯამის ტოლია (HCO_3+CO_3). თუმცა $\text{pH}=8,7$ -ზეც ჰიდროკარბონატული ტუტიანობის წილი საერთო ტუტიანობაში 95-97% იქნება. ასე რომ კარბონატ-იონის განსაზღვრით თავის შეწუხება წყლებში, $\text{pH}=9$ -მდე არ ღირს.

OH^- იონით განპირობებული ტუტიანობის გადათვლაც შეიძლება CaCO_3 -ზე



მოცემული სქემით ორი პროტონის გასანეიტრალეზად იხარჯება ორი მოლი OH^- , რაც ერთ მოლ CaCO_3 შეესაბამება. ანუ 100გ შეესაბამება $2 \times 17 = 34 \text{g}$ OH^- . გადასათვლელ ფორმულას ასეთი სახე ექნება :

ჰიდროქსიდური ტუტიანობა გამოსახული როგორც OH^- , მგ/ლ=34/100 ჰიდროქსიდურ ტუტიანობას გამოსახულს CaCO_3 სახით, მგ/ლ. ეს სიდიდე იმდენად მცირე იქნება და მისი წილი საერთო ტუტიანობაში იმდენად უმნიშვნელო, რომ ამის გათვლაზეც თავის შეწყობა არ ღირს.

4. ჰიდროკარბონატების განსაზღვრა (ISO9963-1:1994, GOCT23268.3-78)

რეაქტივები:

1. 0.05-0.1 N მარილმჟავა. მზადდება ფიქსანალიდან
2. ინდიკატორი -0,1 % მეთილნარინჯის ხსნარი 100 მლ.

ანალიზის მსვლელობა

100მლ. საანალიზო წყალს, უმატებენ 4-5 წვეთ ინდიკატორს და ტიტრავენ 0.1N მარილმჟავის ხსნარით სანამ ხსნარის ფერი ყვითელიდან არ გადავა სუსტ ვარდისფერში.

$$\text{HCO}_3 = (\text{N}_1 \text{V}_1 \cdot 61 \cdot 1000) / \text{V} \text{ მგ/ლ}$$

სადაც $\text{N}_1 \text{V}_1$ მჟავის ნორმალობა და გატიტვრაზე დახარჯული მოცულობა, V საანალიზო წყლის მოცულობა, 61-ჰიდროკარბონატ-იონის ექვივალენტი.

იგივე მონაცემებით შეიძლება წყლის დროებითი სიხისტის გაანგარიშებაც.

$\text{H} = (\text{N}_1 \text{V}_1 \cdot 1000) / \text{V}$ მგ-ექვ/ლ (მილიმოლი/ლ). სადაც H -წყლის სიხისტეა.

5. ქლორიდების განსაზღვრა (GOCT 4245-72)

გოსტში ვერცხლისწყლის ნიტრატის მასა არა სწორედაა მოცემული. ამ ტექსტში გასწორებულია

რეაქტივები.

1. ინდიკატორების ნარევი. 0,5 გ დიფენილკარბაზონს და 0,005 გ ბრომფენოლ ლურჯს ხსნიან მცირე რაოდენობა ეთილის სპირტში და საზომ კოლბაში ხსნარის მოცულობას ავსებენ სპირტით 100მლ-მდე. თუ ბრომფენოლ ლურჯი არა გვაქვს და ვერც ვმოულობთ შეიძლება მარტო დიფენილკარბაზონის გამოყენებაც.

2. 0,1 N ვერცხლისწყლის ნიტრატი. იღებენ 17გრ $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ხსნიან 100 მლ გამოხდილ წყალში, რომელშიც ვერცხლისწყლის ჰიდროლიზის თავიდან ასაცილებლად წინასწარ დამატებულია 1-2 მლ კონც. აზოტმჟავა და ხსნარს გამზომ კოლბაში გამოხდილი წყლით ანზავებენ ერთ ლიტრამდე. ზუსტ ტიტრს ადგენენ 0,1N NaCl-ით ქვემოთ მოცემული ანალიზის ანალოგიურად. გასატიტრად იღებენ 0,1N NaCl -ის 10 მლ. $\text{N}_1 \text{V}_1 = \text{N}_2 \text{V}_2$
აქედან: $\text{N}_1 = \text{N}_2 \text{V}_2 / \text{V}_1$ სადაც $\text{N}_2 \text{V}_2$ ნატრიუმის ქლორიდის ნორმალობა და მოცულობაა, V_1 ტიტრვაზე დახარჯული ვერცხლისწყლის ნიტრატის მოცულობა, ხოლო N_1 დასადგენი ნორმალობა.

3. 0,05 N აზოტმჟავა . 3,5 მლ კონც. აზოტმჟავას ანზავებენ ერთ ლიტრამდე

ანალიზის მსვლელობა:

ქლორიდები იტიტრება მჟავე გარემოში. 100მლ საანალიზო წყალს უმატებენ 10 წვეთ ინდიკატორების ნარევის ხსნარს და წვეთწვეთობით 0,05 N აზოტმჟავას ყვითელი ფერის წარმოქმნამდე (ამ დროს ხსნარის pH დაახლოებით 3,6 ტოლია) შემდეგ ისევ უმატებენ 2-3 წვეთ

0,05 N აზოტმჟავას და ბიურეტიდან (მიკრობიურეტიდან) წვეთწვეთობით უმატებენ ვერცხლისწყლის ხსნარს სანამ ხსნარის ფერი არ გადავა სუსტ იისფერში.

განგარიშება :

$Cl = N_1 V_1 35,46.1000 / V$ მგ/ლ $N_1 V_1.1000 / V$ მილიმოლი/ლ ან მგ-ექვ/ლ

სადაც: V საანალიზო წყლის მოცულობაა, N_1 –ვერცხლისწყლის ნიტრატის ნორმალობა, V_1 –გატიტვრაზე დახარჯული ვერცხლისწყლის ნიტრატის მოცულობა, 35,46–ქლორის იონის ექვივალენტი.

6. სულფატ–იონის განსაზღვრა ფოტოტურბიდიმეტრული მეთოდით

მეთოდი დაფუძნებულია, ახლად წარმოქმნილი ბარიუმის სულფატის სუსპენზიის ფოტომეტრირებაზე.

ანალიზის მსვლელობა:

15–20 მლ სინჯარაში, ვიდრე 5 მლ გაფილტრულ საანალიზო წყალს, ვუმატებთ ერთ წვეთ განზავებულ მარილმჟავას ($pH=2$, კონტროლი ინდიკატორის უნივერსალური ქაღალდით) და 5 მლ დამლექავს, ხსნარს ვურევთ ბურთულიანი წკირით, გადაქვავს 10მლ–იან კიუვეტში და ვაფოტომეტრირებთ. ოპტიკურ სიმკვრივეს ვზომავთ ლურჯ შუქფილტრზე.

განგარიშებას ვახდენთ საკალიბრო გრაფიკის საშუალებით, რომლის ასაგებადაც გამოყენებული იყო იმავე სუქფილტრზე, სტანდარტული ხსნარების გაზომვით (0–100მკგ/10 მლ) მიღებული შედეგები. საველე სამუშაოებისას სულფატ–იონის საორიენტაციო განსაზღვრას ვახდენდით კოლორიმეტრული სინჯარების საშუალებით.

ხსნარები და დამლექავი რეაგენტი:

1. ბარიუმის ქლორიდის 5% ხსნარი;
2. ეთილის სპირტი;
3. ეთილენ გლიკოლი ან გლიცერინი;
4. განზ, მარილმჟავა 1:1.

სტანდარტული ხსნარები და მზადებული 0,1 M გოგირდმჟავას ბაზაზე.

დამლექავი რეაგენტი:

1. ერთი მოცულობა 5% ბარიუმის ქლორიდი;
2. სამი მოცულობა ეთილის სპირტი;
3. სამი მოცულობა ეთილენ გლიკოლი.

7. წყლის საერთო სიხისტის (Ca+Mg), კალციუმის და მაგნიუმის განსაზღვრა

1. კომპლესონომეტრული მეთოდით

მეთოდის პრინციპი: მეთოდი დაფუძნებულია ტრილონ „ბ“-ს და მეტალინდიკატორების გამოყენებაზე. მეტალინდიკატორები (მურექსიდი, ერიოქრომმავი და სხვ) მეტალებთან წარმოქმნიან შეფერილ კომპლექსებს. ტრილონ „ბ“ დამატებისას, ეს კომპლექსები იშლებიან,

რადგან ტრილონი უფრო ძლიერი კომპლექსწარმომქნელია და წარმოიქმნება ახალი სისტემა : თავისული ინდიკატორი და ტრილონთან კომპლექსში მყოფი მეტალი. მეტალ ინდიკატორის კომპლექს და თავისუფალ ინდიკატორს სხვადასხვა ფერები აქვთ, რაც გატიტვრის წერტილის დადგენაში გვეხმარება. რადგან ტრილონი ნებისმიერ მეტალთან კომპლექსში შედის თანაფარდობით 1:1, ამიტომ ძირითად სამუშაო ხსნარებად გამოიყენება ტრილონის მოლური ხსნარები (მოცულობითი ანალიზის სხვა შემთხვევებში ნორმალურ ხსნარებს ვიყენებთ)

სამუშაო ხსნარები და ინდიკატორები კომპლექსონმეტრიაში (ტრილონმეტრიაში):

1. ტრილონი „ბ“ M=372 გ

0,1 M—37,2გ რეაქტივს ხსნიან 500მლ გამოხდილ წყალში და გამზომ კოლბაში მოცულობა მიყავთ 1ლ–მდე

0,025 M—9,3გ რეაქტივს ხსნიან 500მლ გამოხდილ წყალში და გამზომ კოლბაში მოცულობა მიყავთ 1ლ–მდე

0,01M—3,72გ რეაქტივს ხსნიან 500მლ გამოხდილ წყალში და გამზომ კოლბაში მოცულობა მიყავთ 1ლ–მდე

2. ინდიკატორები.

ერიოქრომი შავი. ერთ გრამ ერიოქრომშავს, ფაიფურის ჯამში ასრისავენ 100გ NaCl-ში მურექსიდი. ერთ გრამ მურექსიდს , ფაიფურის ჯამში ასრისავენ 100 გ NaCl

3. ბუფერული ხსნარი. 50 გ ქიმიურად სუფთა ამონიუმის ქლორიდს ხსნიან 100მლ წყალში, უმატებენ 250მლ 20% ამონიუმის ტუტეს და ხსნარის მოცულობა აყავთ წყლით ერთ ლიტრამდე

4. ტუტის ხსნარი – 2 მოლური ნატრიუმის ტუტე, 80 გ ტუტეს ხსნიან ერთ ლიტრ წყალში

3. წყლის სიხისტის ანუ კალციუმის და მაგნიუმის ჯამის განსაზღვრა (ISO6059:1989,ГОСТ4151-72)

100 მლ საანალიზო წყალს ვუმატებთ 5 მლ ბუფერს და დაახლოებით 0,1გ ერიოქრომშავის ფხვნილს NaCl-ში (ლანცეტის წვერზე რომ ეტევა). ხსნარს ვურევთ და ნელ–ნელა ვტიტრავთ 0,025 M ტრილონის ხსნარით, სანამ ხსნარის შეფერილობა მოწითალო იისფერიდან ცისფერში არ გადავა. ფერის ცვლილების უკეთ დასანახად კარგია თუ გასატიტრ ნიმუშის გვერდით დავდგამთ მის პარალელს ინდიკატორით და ბუფერით, ოღონდ ტრილონის გარეშე. (თუ ძალიან ცოტა 1 მლ ან ნაკლები დაიხარჯა მაშინ 0,01M ხსნარით შევცვლით, თუ ბევრი მაგ. 20მლ–ზე მეტი მაშინ 0,1M შევცვლით. მაგრამ როგორც წესი ჩვენი მდინარეებისთვის 0,025 M ოპტიმალურია). ბუფერის დამატების გამო ხსნარის pH დაახლოებით 10–ის ტოლია, რაც განაპირობებს როგორც კალციუმის ასევე მაგნიუმის გატიტვრას

განგარიშება. სიხისტე $H = V_1 \cdot 2M \cdot 1000 / V$ მგ–ექვ/ლ (მილიმოლი/ლ, გრადუსები)

სადაც M-ტრილონის კონცენტრაციაა, V–საანალიზო წყლის მოცულობაა, V_1 –გატიტვრაზე დახარჯული ტრილონის მოცულობა (ეს სიდიდე მომავალში დაგვჭირდება მაგნიუმის გასათვლელად)

ადრე, როდესაც ტრილონის კონცენტრაციას ნორმალობით გამოსახავდენ, წყლის სიხისტეს ასე ანგარიშობდენ: $H = V_1 \cdot N \cdot 1000 / V$ მგ–ექვ/ლ (მილი მოლი/ლ), სადაც N ტრილონის ნორმალური კონცენტრაციაა (ტრილონის ექვივალენტი =186გ ანუ 1 მოლური ხსნარი =2 ნორმალურს)

3. კალციუმის განსაზღვრა (ISO6059:1984, ГОСТ232668.5-78. ოღონდ აქ ტრილონის ნორმალური კონცენტრაციებზეა გათვლა მოცემული)

100მლ საანალიზო ხსნარს ვუმატებთ 2-3 მლ 2 მოლურ ნატრიუმის ტუტეს (შეიძლება კალიუმის ტუტეც), დაახლოებით 0.1 გ მურექსიდის ფხვნილს NaCl-ში, ვურევთ და ნელ-ნელა ვტიტრავთ 0,025 M ტრილონის ხსნარით, სანამ ხსნარის შეფერილობა მოწითალო ვარდისფერიდან არ გადავა ლურჯ იისფერში. ფერის ცვლილების უკეთ დასანახად კარგია თუ გასატიტრი ნიმუშის გვერდით დავდგამთ მის პარალელს ინდიკატორით და ბუფერით, ოღონდ ტრილონის გარეშე. ამ დროს ძლიერ ტუტე გარემოში დალექვის გამო, მაგნიუმი არ იტიტრება.

გაანგარიშება

$$C(\text{Ca}) = MV_2 \cdot \text{Ar}.1000/V \text{ მგ/ლ} \quad \text{ან} \quad C(\text{Ca}) = MV_2 \cdot 1000/V \text{ მილიმოლი/ლ}$$

სადაც **Ar** კალციუმის ატომური მასაა **V**-საანალიზო ხსნარის მოცულობა, **V₂**-კალციუმის გატიტვრაზე დახარჯული ტრილონის მოცულობა. **M**-ტრილონის კონცენტრაცია. თუ ნორმლობითაა კონცენტრაცია გამოსახული მაშინ;

$$C(\text{Ca}) = NV_2 \cdot 20,4 \cdot 1000/V \text{ მგ/ლ} \quad \text{სადაც } 20,4 \text{ კალციუმის ექვივალენცია}$$

კალციუმის გატიტვრის შემდეგ ადვილია მაგნიუმის გაანგარიშება:

$$\text{მოლური კონცენტრაციისას } C(\text{Mg}) = M \cdot (V_1 - V_2) \cdot \text{Ar}.1000/V \text{ მგ/ლ}$$

$$\text{ან } C(\text{Mg}) = M \cdot (V_1 - V_2) \cdot 1000/V \text{ მილიმოლი/ლ}$$

სადაც **Ar** მაგნიუმის ატომური მასაა **V**-საანალიზო ხსნარის მოცულობა, **V₁**-წყლის სიხისტის ანუ კალციუმის და მაგნიუმის ჯამის განსაზღვრისას დახარჯული ტრილონის მოცულობა, **V₂**-კალციუმის გატიტვრაზე დახარჯული ტრილონის მოცულობა. **M**-ტრილონის კონცენტრაცია

$$\text{ნორმალური კონცენტრაციისას } C(\text{Mg}) = N (V_1 - V_2) \cdot 12,15 \cdot 1000/V \text{ მგ/ლ} \quad \text{სადაც } 12,15 \text{ მაგნიუმის ექვივალენცია}$$

თუ საჭიროა ტრილონის სტანდარტული (სამუშაო) ხსნარის ზუსტი კონცენტრაციის დადგენ ამისათვის იყენებენ მაგნიუმის სულფატის ფიქსონალს. ფიქსონალს ხსნიან ერთ ლიტრ წყალში. იქედან იღებენ 10 მლ და წყლის სიხისტის ანალოგიურად ტიტრავენ $M_1V_1 = M_2V_2$ აქედან $M_2 = M_1V_1 / V_2$

სადაც-**M₁** ფიქსონალის მოლურობაა (ზედ აწერია), **V₁** გასატიტრად აღებული ფიქსონალის მოცულობა, **V₂**-გატიტვრაზე დახარჯული ტრილონის მოცულობა. იგივე მიზნით გამოდგება თუთიის ქლორიდის ფიქსონალი ან კალციუმის ქლორიდის სტანდარტული ხსნარი

თუ ცნობილია სიხისტის სიდიდე და კალციუმის კონცენტრაციაა მგ-ექვ/ლ, ასევე ადვილია მაგნიუმის კონცენტრაციის გაგება მგ-ექვ/ლ-ში

$$C(\text{Mg}) = 12,16(a-b) \text{ მგ-ექვ/ლ}$$

სადაც **a**-სიხისტა მგ-ექვ/ლ, **b**-კალციუმის რაოდენობა მგ-ექვ/ლ. 12,16-მაგნიუმის ექვივალენტი.

მილიმოლ-ექვ/ლ ანუ მგ-ექვ/ლ მგ/ლ-ში გადასასვლელად სიდიდე უნდა გამრავლდეს ექვივალენტზე. ხოლო მგ/ლ-დან მგ-ექვ/ლ-ში გადასაყვანად სიდიდე უნდა გაიყოს ექვივალენტზე.

ერთ ვალენტიანი იონებისთვის მილიმოლ/ლ=მილიმოლ-ექვ/ლ =მგ-ექვ/ლ და მოლ/ლ=მოლ-ექვ/ლ =გ-ექვ/ლ

დასავლეთის ქვეყნების უმეტესობაში საერთო (ჯამურ) სიხისტეს CaCO_3 -ის სახით მგ/ლ-ში, გამოსახვენ. რადგან 100გ კალციუმის კარბონატზე მოდის 40 გ კალციუმი გადასაყვან ფორმულას ასეთი სახე ექნება :

საერთო სიხისტე CaCO_3 -ის სახით გამოსახული, მგ/ლ= Ca , მგ/ლ x 2,5. ანუ კალციუმის რაოდენობა მგ/ლ გამრავლებული 2,5, კალციუმის კარბონატით გამოსახული საერთო სიხისტის (მგ/ლ)ტოლია

CaCO_3 მგ/ლ	სიხისტის სახეობა
0-50	რბილი
50-100საშუალო	საშუალო
100-300 ხისტი	ხისტი
> 300	ძალიან ხისტი

პრინციპში ეს მთლად სწორი არაა, რადგან წყლის სიხისტეს Mg^{2+} იონებიც განაპირობებენ და უფრო სწორი იქნებოდა საერთო სიხისტე კალციუმის და მაგნიუმის კარბონატებით გამოსახული სიხისტეების ჯამით ყოფილიყო წარმოდგენილი.მითუმეტეს, რომ საერთო სიხისტის ტრილონომეტრულად განსაზღვრისას ბუფერული ამიაკური ხსნარი და ერიოქრომშავია გამოყენებული. ამ დროს კი როგორც უკვე ვნახეთ, წყლებში კალციუმის და მაგნიუმის ჯამი ისაზღვრება.

საერთოდ ევროპაში სიხისტის აღნიშვნაში დიდი მრავალფეროვნებაა.

მაგ.სიხისტის ერთი გერმანული გრადუსი^{°D} შეესაბამება 10მგ CaO /ლ ანუ17.8მგ CaCO_3 /ლ.

ფრანგული გრადუსი , ^{°F} შეესაბამება 10მგ CaCO_3 /ლ,

ხოლო ინგლისური სიხისტის გრადუსი, ^{°E} შეესაბამება =14,3 მგ CaCO_3 /ლ (თუ რატომ ამას თავად ინგლისელებიც ვერ არკვევენ.

8. ნატრიუმის გასაზღვრა

Na –ის (ნატრიუმის) შემცველობა ბუნებრივ წყლებში, განსაზღვრის ალის ფოტომეტრული მეთოდი.

ნატრიუმის იონები ბუნებრივ წყლებში გავრცელების მიხედვით კათიონთა შორის პირველ ადგილზე იმყოფება. ქლორის მსგავსად იგი დიდი რაოდენობითაა მაღალმინერალიზებულ წყლებში. ამასთან, ბუნებრივ წყლებში ნატრიუმის რაოდენობრივი შემცველობა გაცილებით სჭარბობს კალიუმის შემცველობას. ჰიდროქიმიურ პრაქტიკაში ხშირად მიმართავენ ტუტე ლითონების (K , Na) შემცველობის გამოანგარიშებას. რაც ემყარება დაშვებას, რომ ხსნარში ანიონთა ექვივალენტების ჯამი ტოლი უნდა იყოს კათიონთა ექვივალენტების ჯამის. ბუნებრივ წყლებში მთავარ იონებს შეადგენენ: Cl^- , SO_4^{2-} HCO_3^- , CO_3^{2-} ,

Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ და K^+ . ანალიზის შედეგებს გამოსახავენ მგ.ექვივალენტებში. ანიონთა (ქლორი, სულფატი, კარბონატი, ჰიდროკარბონატი) ექვივალენტების ჯამ აკლებენ კათიონთა ექვივალენტების ჯამს (კალციუმი, მაგნიუმი). სხვაობა იძლევა (ნატრიუმი +კალიუმის) შემცველობას, გამოსახულს მგ. ექვივალენტებში. ზოგჯერ (მაგ. წყლის ტიპის დადგენის დროს) აუცილებელია მათი განსაზღვრა პირდაპირი მეთოდებით.

ნატრიუმის იონთა შემცველობის განსაზღვრისათვის ფართოდ გამოიყენება ალის ფოტომეტრული მეთოდი. იგი დაფუძნებულია ადვილად აღზნებადი ატომების უნარზე, გაზის ან აცეტონის ალში შეტანისას აღზნების შედეგად გამოასხივონ გარკვეული ტალღის სიგრძის სხივები, და გამოიწვიონ ალის შეფერვა. კონცენტრაციის გარკვეულ ინტერვალში ნივთიერების გამოსხივების ინტენსიობა, ხსნარში არსებული ამ ნივთიერების ატომთა რაოდენობის პროპორციულია. გამოსხივების ინტენსიობას ზომავენ ფოტოელემენტების გამოყენებით. მიღებული სპექტრის სიმარტივე საშუალებას იძლევა გამოიყოს საძიებელი სპექტრალური ხაზი შუქფილტრების, ან მცირე დისპერსიის მონოქრომატორების დახმარებით. განსაზღვრისათვის იყენებენ ალის სპექტრო ფოტომეტრს.

ნატრიუმის ატომთა აღზნება ხდება $1200-1400^{\circ}\text{C}$ -ზე ჰაერისა და პროპანის, ან ბუთანისა და ჰაერის ნარევიში. ნატრიუმს საზღვრავენ სპექტრალური ხაზის ლამბდა= $5890-5896 \text{ \AA}$ ტალღის სიგრძის ფარგლებში. ამ პირობებში ნატრიუმი შეიძლება განისაზღვროს სხვა ელემენტების თანაობისასაც. განსაზღვრას ხელს უშლის მხოლოდ დიდი რაოდენობით ალუმინის არსებობა.

ეტალონური და გამოსაკვლევი ხსნარების დამზადება.

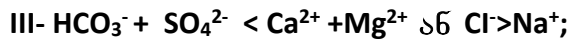
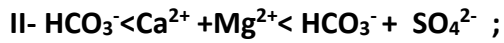
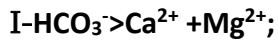
ანალიზურ სასწორზე ვწონით 0.0254გ. სუფრის მარილს. გადაგვაქვს 200 მლ გამზომ კოლბაში და ორჯელ გამოხდილი წყლით ვავსებთ ჭდემდე. ამ ხსნარის განზავებით ვამზადებთ შემდეგ ეტალონურ ხსნარებს.

ანალიზის მსვლელობა.

შემფრქვევაში შეგვაქვს ეტალონური ხსნარები და ალის ფოტომეტრზე ვიღებთ სათანადო ანათვალს. ყოველი განსაზღვრის წინ შემფრქვევს კარგად ვრეცხავთ ბიდესტილატით. მიღებული შედეგების საფუძველზე ვაგებთ საკალიბრო მრუდს. ორდინატთა ღერძზე ვზომავთ მიკროამპერმეტრზე აღებულ ანათვალს, აბცისთა ღერძზე ნატრიუმის რაოდენობას შესაბამის ეტალონურ ხსნარებში. ანალოგიურად ვიკვლევთ გამოსაკვლევი ხსნარის ალიქვოტს. მიკრო ამპერმეტრზე აღებული ანათვალის მიხედვით, საკალიბრო მრუდზე ვვანგარიშობთ ნატრიუმის რაოდენობას.

9. წყლის ტიპის დადგენა

მტკნარი ბუნებრივი წყლები იმ ანიონის მიხედვით, რომელიც ყველაზე მეტია, მგ.ექვივალენტებში ანუ მილიმოლექვივალენტებში, იყოფა ჰიდროკარბონატულ ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$), სულფატურ (SO_4^{2-}) და ქლორიდულ კლასებად. კლასი აღინიშნება შესაბამისი ანიონის სიმბოლოს მიხედვით (C,S,Cl). თითოეული კლასი, კათიონის მიხედვით, იყოფა სამ ჯგუფად. ჯგუფის შესაბამისი სიმბოლო (Na, Mg,Ca) იწერება ხარისხის მაჩვენებლად. თითოეული ჯგუფი, მთავარი იონების რაოდენობრივი თანაფარდობის მიხედვით (მგ.ექვივალენტებში ანუ მილიმოლექვივალენტებში), იყოფა 4 ტიპად, რომელიც რომაული ციფრით იწერება ინდექსად:



ჩვენს მიერ შესასწავლილი მდინარის წყლები მიეკუთვნებიან დაბალმინერალიზებულ, კარბონატული კლასის, კალციუმის ტიპის წყლებს.

სორბციის კანონზომიერებები

ზედაპირულ წყლებში მიკროელემენტების მიგრაციის ერთ ერთ მნიშვნელოვან გეოქიმიურ ბარიერს სორბციული პროცესები წარმოადგენენ. სორბენტის როლში ძირითადად გვევლინებიან თიხა-მინერალები, მძიმე ლითონთ ოქსიდები და ჰიდროქსიდები, ასევე ორგანული ნივთიერებები.

მდინარის მყარი ფაზა (კალაპოტის შემქმნელი ქანები, შეტივნარებული ნივთიერებები, ფსკერული ნალექები და ლამები) ბუნებრივ წყლებში ორმაგ როლში შეიძლება მოგვევლინოს ერთის მხრივ, როგორც ტოქსიკური მეტალებისაგან წყალსატევების თვითგაწმენდის აქტიური მონაწილე ან გაჭუჭყიანების მეორადი წყარო.

სორბციის კანონზომიერებები ცალკეულ სორბენტებზე კარგადაა შესწავლილი, მაგრამ ძალზე ძუნწია მონაცემები სორბციულ პროცესებში მდინარის ტივტივა ნატანის მონაწილეობის შესახებ. ამ მიზნით მოდელურ სუსპენზიაზე შესწავლილ იქნა ზოგიერთი ტოქსიკური ელემენტის (სპილენძი, ტიტანი, მანგანეცი ვანადიუმი) სორბცია მდინარის წყლიდან გამოყოფილ და სედიმენტაციური მეთოდით ფრაქციონირებულ ტივტივა ნატანსა და ლამზე. აგრეთვე აუზის ძირითად ქანებსა (თიხა-ფიქალი, ქვიშა-ქვა) და რკინის ჰიდროქსიდზე.

სორბციის შესრულების ტექნიკა მაქსიმალურად უახლოვდებოდა ბუნებრივ პირობებს. 200-250 მლ შლიფიან კოლბებში შეგვექონდა გარკვეული მოცულობის გამოხდილი, ან ონკანის წყალი, გარკვეული რაოდენობით მყარი ფაზა, 0.1N NaOH-ით ან 0.1N HCl-ით ვქმნიდით სასურველ არეს (PH=7-8) ვუმატებდით ცდისთვის საჭირო რაოდენობის ლითონის ტიტრიან ხსნარს. ვანჯღრევდით და ვაყოვნებდით 24 საათი. განსაზღვრის წინ ვაცენტრიფუგირებდით და ხსნარში ვსაზღვრავდით ლითონის წონასწორულ კონცენტრაციას. შტანილი (საწყისი) და წონასწორული კონცენტრაციის სხვაობა გვამლევდა მყარ ფაზაზე სორბირებული ელემენტის რაოდენობას (შედეგებს გამოვსახავდით ერთ გრამ სორბენტის მიმართ).

ცდის ცალკეულ სერიებში შესწავლილ იქნა სორბციაზე სხვადასხვა ფაქტორის კერძოდ: მყარი ფაზის ნაწილაკების ზომის, წონასწორობის დამყარების დროის, ადსორბენტ-ადსორბტივის თანაფარდობის, მინერალიზაციის გავლენა.

- მოდელურ სუსპენზიებზე ჩატარებულმა ცდებმა გვიჩვენა, რომ მყარი ფაზის ნაწილაკების ზომის გაზრდით, სორბციული უნარი კლებულობს. კერძოდ: მარცვლების ზომის შემცირებით 0,3 მმ-დან 0,001მმ-მდე, მათი სორბციული უნარი 30-40% მატულობს.
- წონასწორობა პრაქტიკულად მყარდება 3-5 საათის კონტაქტის შემდეგ. პერიოდულად ვანჯღრევთ და ვაყენებთ 1 დღე ღამის განმავლობაში.
- დადგენილი იქნა, რომ 100 მკგ. სპილენძის რაოდენობით სორბციისთვის საკმარისია 0,10-0,33 გ/ლ ტივტივა ნატანი და 1 გ/ლ ქანი.
- სუსპენზიის შემადგენლობა და პირობები შეძლებისდაგვარად მიახლოებული იყო ბუნებრივთან. არის PH იცვლებოდა 0 დან 8 -მდე.

- დადგენილი იქნა, რომ ადსორბცივ-ადსორბენტის თნაფარდობის გაზრდით ადსორბირებული მეტალის საერთო რაოდენობა (მკმოლი/გ) იზრდება, ხოლო ფარდობითი სორბციული ტევადობა ($M_{ად}/M_{საწყ.} \cdot 100$) მცირდება (ცხრილი 1, 2, 3,4)

ადსორბცივ-ადსორბენტის თნაფარდობის გავლენა თიხა-ფიქალით სპილენწის სორბციაზე
(ნაწილაკების ზომა $d=0.002-0.03$ V=200მლ PH=6,8)

ცხრილი 10

(ადსორბცივი) Cu მკგ/ლ კონცენტრაცია	საწყისი ნატანი გ/ლ	(ადსორბენტი) ტივტივა ნატანი გ/ლ	$Cu_{saw} \cdot 10^3$ natani	Cu მკგ/ლ წონასწორ. კონც.	Cu ადსორბ	
					%	მკმოლი/გ
20	0.50	0.50	0.004	0.5	97.5	0.62
40	0.50	0.50	0.008	14	65	0.82
80	0.50	0.50	0.16	32	60	1.50
120	0.50	0.50	0.24	64	47	1.76
200	0.50	0.50	0.40	116	42	2.64
100	4.00	4.00	0.03	3	97	0.36
100	2.00	2.00	0.05	7	93	0.73
100	1.20	1.20	0.08	12	88	1.15
100	1.00	1.00	0.10	20	80	1.24
100	0.40	0.40	0.25	41	59	2.32
100	0.20	0.20	0.50	55	45	3.55
100	0.12	0.12	0.83	60	40	5.25
100	0.04	0.04	2.50	63	37	14.5

ადსორბცივ-ასორბენტის თნაფართობის გავლენა მდინარის ტივტივა ნატანით ტიტანის
სორბციაზე

ცხრილი 11

ნატანი მგ/ლ	Ti მკგ/ლ	სორბცია % pH=2.4		ნატანი მგ/ლ	Ti მკგ/ლ	სორბცია % pH=2.4	
		მდ.ჭოროხი	მდ. კინტრიში			მდ.ჭოროხი	მდ. კინტრიში
5	50	34	42	250	5	100	100
25	50	45	64	250	10	72	100
50	50	66	94	250	15	68	81
150	50	97	100	250	20	63	74
250	50	100	100	250	40	47	55
500	50	100	100	250	60	42	48

ადსორტივ-ასბორბენტის თნაფართობის გავლენა მდინარის ტივტივა ნატანით მანგანუმის სორბციაზე
(ცდის პირობები PH=8,0-8,2, V=100 მლ 1-6 სინჯ. ტივტივა ნატანის m=100მგ, 7-12 სინჯი Mn²⁺=200 მკგ)

ცხრილი 12

ცდის №	adsorbtiვ adsorbteni	მდ.ჭორობი ტივტივა ნატანი		მდ. კინტრიში ტივტივა ნატანი	
		მგ/გ	%	მგ/გ	%
1	0,0001	0,07	70	0,07	70
2	0,0002	0,13	65	0,14	72
3	0,0004	0,24	60	0,26	66
4	0,0006	0,33	55	0,37	62
5	0,0010	0,44	44	0,52	52
6	0,0020	0,50	25	0,66	33
7	0,0002	0,14	72	0,16	78
8	0,0004	0,25	63	0,30	74
9	0,0007	0,36	54	0,38	57
10	0,0020	0,52	26	0,70	35
11	0,0040	0,80	20	1,20	30
12	0,0200	3,40	17	3,60	18

აღნიშნული კანონზომიერება განსაკუთრებით თვალში საცემია, როცა მეტალის ადსორბირებული რაოდენობის (M_{ად}) ფარდობა მეტალის საწყის კონცენტრაციასთან (M_{საწყ.}) M_{ად}/ M_{საწყ.} <10⁻⁴ -ზე. აღსანიშნავია, რომ საქართველოს მდინარეები სწორედ ასეთ სისტემებს მიეკუთვნებიან.

წყალ ფაზაში მიკროელემენტების კარგ სორბენტებად ითვლებიან მეტალტა ოქსიდები და ჰიდროქსიდები.

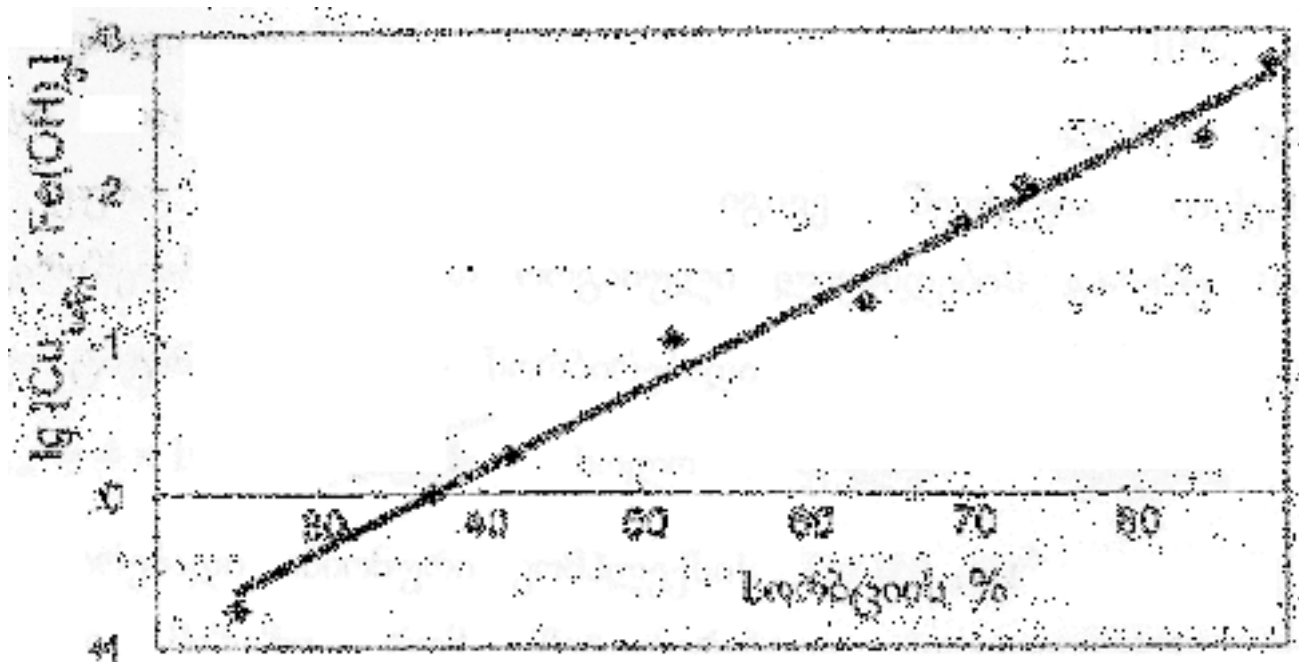
რკინის ჰიდროქსიდის რაოდენობისა და დაძველების ხარისხის გავლენა სპილენძის სორბციაზე
(ცდის პირობები. 50 მკგ Cu, pH=8,0±1, V=0.5ლ)

ცხრილი 13.

Fe(OH) ₃	lg $\frac{Cu}{Fe(OH)_3}$	FeOH ₃ -ზე სორბირებული სპილენძი		
		ახლადგამოლექილი	გამოლექვიდან 6 დღის შემდეგ	ჰაერმშრალი
0,1		26	5	2
0,5	-0,30	39	12	8
1,0	-1,00	45	20	15
5,0	-1,30	55	38	8
10	-2,00	65	52	40
30	-2,80	70	65	54

50	-3,0	74	71	60
100	-3,30	81	78	64
300	-3,80	95	88	74

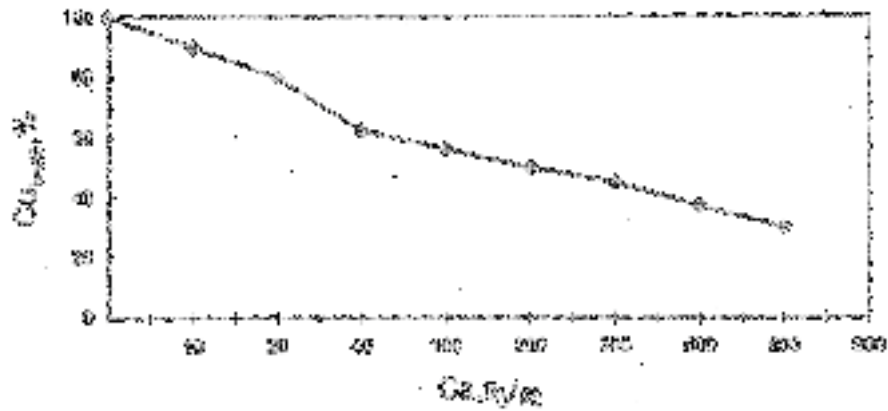
როგორც ცხრილებიდან ჩანს, სორბციული ტევადობით რკინის ჰიდროქსიდი ბევრად აღემატება როგორც ქანებს, ასევე ნატანებს, მაგრამ აქაც სორბციის ეფექტი დამოკიდებულია სორბტივ/სორბენტის თანაფარდობაზე.



ნახაზი 2. რკინის ჰიდროქსიდით სპილენძის სორბციის დამოკიდებულება სორბტივ-სორბენტის თანაფარდობაზე

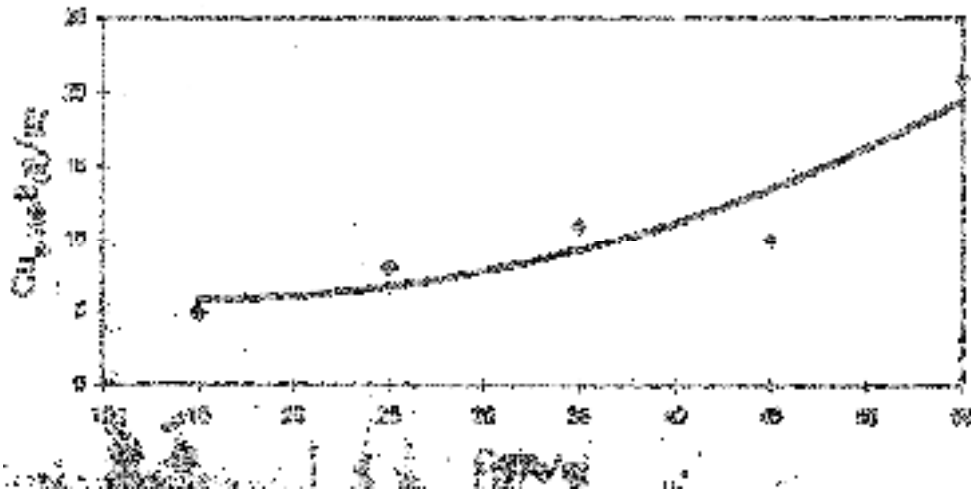
შეტივნარებული ნივთიერებებით მიკროელემენტების სორბციაზე გავლენა შეიძლება მოახდინოს წყლის მაკრო კომპონენტებმაც (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^+). ამ მიზნით შესწავლილია ნატრიუმისა და კალციუმის იონების გავლენა სპილენძის სორბციის უნარზე.

დადგენილია რომ ნატრიუმი კონცენტრაციის იმ ზღვრებში, რომელიც დამახასიათებელია საქართველოს მდინარეებისათვის, სპილენძის სორბციაზე მნიშვნელოვან გავლენას არ ახდენს, რასაც ვერ ვიტყვით კალციუმზე, როდესაც Ca^{2+} კონცენტრაცია 40 მგ/ლ აღწევს სპილენძის სორბცია 40-50%-მდე ეცემა (ნახ 2.)



ნახაზი 3. კალციუმის იონების გავლენა მდინარის წყალში შეტივინებული ნივთიერებებით სპილენძის სორბციაზე

როგორც ვხედავთ, მოდელურ სისტემაში წყალფაზაში კალციუმის იონების კონცენტრაციის გაზრდით, მყარი ფაზიდან სპილენძის დესორბციის პროცესი აქტივირდება. ეს გარემოება თავის ასახვას პოულობს ბუნებრივ წყლებში სპილენძისა და კალციუმის იონებს შორის არსებულ კავშირში - კალციუმის კონცენტრაციის გაზრდას თან ახლავს ხსნარში (მდინარის თხევად ფაზაში), სპილენძის კონცენტრაციის მატება.



ნახაზი 4. კალციუმის იონების გავლენა მდინარის წყალში სპილენძის შემცველობაზე

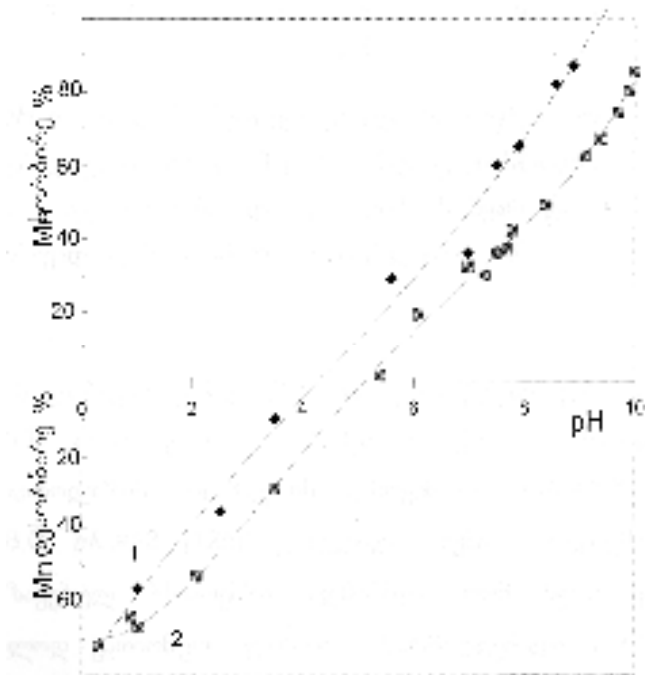
ელემენტების ფაზათ შორის განაწილებაში არც თუ უმნიშვნელო როლს თამაშობს საერთო მინერალიზაციის გაზრდა, რასაც საბოლოო ჯამში მივყავართ ცუდად, ან საერთოდ არასორბირებადი ფორმების წარმოქმნისაკენ (მაგ. CuSO_4^0 , MnSO_4^0 , CuCO_3^0 , MnCO_3^0 , CuCl_2^0 , CuCl_3^- , MnCl_2^+ და ა.შ.) ეს განსაკუთრებით კარგად ჩანს მანგანუმის მაგალითზე. საშუალოდ მდინარე ჭოროხის ნატანზე სორბირებული მანგანუმის 33-40% მდინარის შესართავში დესორბირდება. ანალოგიური შედეგები იქნა მიღებული მოდელურ სუსპენზიებზე ცხრილი 5.

წყლის მინერალიზაციის გავლენა მდინარეთ შეტივენარებული ნივთიერებებიდან მანგანუმის დესორბციაზე (მყარი ფაზა 200 მგ 60 მკგ $M_{\text{დსორბ}}$; 100 მლ წყალი; კონტაქტის დრო 5 დღე-ღამე)

ცხრილი 14.

ობიექტი	ძირითადი ფრაქცია	კარბონატული $\text{CO}_2\%$	დესორბენტი			
			წვიმის წყალი	მდინარის წყალი	შვიზლის წყალი	ოკეანის წყალი
მდ. მნა, ნატანი	ალევრიტი	0,8	5,9	10,8	28,5	43,1
მდ.რიონი ნატანი	ალევრიტოპელიტი	8,3	3,7	8,8	23,0	37,0
მდ.მტკვარი ნატანი	ალევრიტოპელიტი	12,1	2,2	6,2	22,0	35,0
ინდოეთის ოკეანის კარბონატული ლამი	პელიტი	36,1	0,0	3,0	16,2	32,6

სორბციულ პროცესებზე და აქედან გამომდინარე მიკროელემენტების ფაზათ შორის განაწილებაზე არსებით გავლენას ახდენს წყლის pH. მანგანუმის მაგალითზე დადგენილი იქნა (ნახ 4.) რომ $\text{pH} < 4$ ადგილი აქვს მის გასვლას მყარი ფაზიდან ხსნარში, ხოლო $\text{pH} \geq 8.8$ - ხსნარიდან მყარ ფაზაში. თეორიული გათვლებით $\text{Mn}(\text{OH})_2$ დალექვის $\text{pH}=10.5$ დალექვის pH - ის დაწვევა შეტივენარებული ნივთიერებების მიერ პირველადი კრისტალიზაციის ცენტრების ფუნქციის შესრულებით უნდა აიხსნას.



ნახაზი 4. pH -ის გავლენა მანგანუმის ფაზათა შორის განაწილებაზე

ჰიდროქიმიური თვალსაზრისით ძალზე საინტერესოა (აუცილებელიც) ლითონების სორბციაზე PH -ის გავლენის შესწავლა. მისი გათვალისწინებით შესაძლებელი ხდება ბუნებრივ წყლებში მიკროელემენტების ერთი შეხედვით ალოგიკური ქცევის ახსნა. გამოვლენილი კანონზომიერებების მიზეზები კი მათი ჰიდროლიზის და მიგრაციის თავისებურებებში უნდა ვეძებოთ.

მდინარეთა მყარი ნატანის წარმოქმნა და თვისებები

1. ზოგადი ცნობები

აჭარის ტერიტორია შემოისაზღვრება: ჩრდილოეთით-გურიის, სამხრეთით შავშეთის, აღმოსავლეთით არსიანის ქედით, ხოლო დასავლეთით შავი ზღვით. აჭარა გამოირჩევა მდინარეთა ხშირი ქსელით და უხვი ატმოსფერული ნალექებით. ისინი ხასიათდებიან წყლიანობის ნაკლები რყევადობით ვიდრე სხვა, განსაკუთრებით კი აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეები და გააჩნიათ გაზაფხულის და შემოდგომის პიკები. ისინი სათავეს იღებენ მაღალ ნიშნულებზე. ჰიდრომეტრიული სიმაღლეები ზღვის დონიდან 2500 მ-ს აღემატება, მათ შავ ზღვასთან სიახლოვის გამო გააჩნიათ დიდი ვარდნები. განსაკუთრებით საწყის უბნებზე, რაც მნიშვნელოვანია მაღალეფექტური დერივაციული ტიპის ჰიდროელექტროსადგურების ასაშენებლად. აღნიშნულის გამო დღეს აჭარის ტერიტორიაზე ექსპლუატაციაში მყოფი ხუთი ელექტროსადგურებიდან (აწჰესი, მაჭახელაჰესი, კინკიშჰესი, აჭიჰესი და ჩიხურ-სანალიას ჰესი) ყველა დერივაციული ტიპისაა [1]. აჭარის რეგიონის რელიეფის ფორმირებაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მდინარეთა სისტემის მოქმედება. მდინარეთა და მათი შენაკადების ინტენსიურ ეროზიული მოქმედებას ხელს უწყობს ჭარბი ატმოსფერული ნალექები, რის შედეგადაც მკაფიოდ გამოხატულია სიღრმული და გვერდითი ეროზიული მოქმედებანი, გამორეცხვას ზედაპირები და განვითარებული ხეობათა მყარი ნატანების გამონატანის კონუსები.

2. ნატანის წყაროები და მათი გადაადგილება

დედამიწის ზედაპირზე წარმოქმნილი ნატანის რაოდენობა აურაცხელია. ზოგიერთი მდინარეები გადაადგილებენ თავისი წყლებით ყოველ წლიურად ათობით და ათასობით მილიონ კუბომეტრ ნატანს.

მყარი ნატანის წარმოქმნის ძირითადი წყაროებია [2]:

1. ნიადაგის ზედაპირული ეროზიები ხევების წარმოქმნის გარეშე, რომლებიც ეწია აღმდეგებიან მიწის სასოფლო მიზნებისათვის დამუშავებას;
2. წყლის ნაკადებისაგან ხევების წარმოქმნა და შემდგომი წარეცხვა;
3. მეწყერები და ჩამონაშალი;
4. წყალდიდობით გამოწვეული კალაპოტური ეროზიები და ადიდებულ მდინარეთა მიერ ნიადაგის ზედაპირის წარეცხვა, სელების წარმოქმნა;
5. ეროზიები, გამოწვეული ადამიანების ქმედებით (გზების გაჭრაზე; გაწეული ღონისძიებების ჩტარება; სამოქალაქო, ჰიდროტექნიკური და სამრეწველო მშენებლობის განხორციელების დროს);
6. სამთო ქანების ნგრევა სამთო მრეწველობაში და მათი ჩაყრა მდინარეთ კალაპოტებში, ასევე მათი შემდგომში წარეცხვები.

ჩამონათვალი წყაროებიდან ნატანის წარმოქმნაში დომინირებული ადგილი უჭირავს ნიადაგის ზედაპირულ ეროზიას.

ნატანის უმეტესი ნაწილი გროვდება წარმოქმნის წყაროებიდან შედარებით მცირე მანძილზე, დანარჩენი ნაწილი კი ილექება არხებში, წყალსაცავებში და მდინარეთა პერიოდულად დატბორილ ველებზე მათ მთელ სიგრძეზე.

წყლის ნაკადების მიერ მთებიდან გადმოტანილი მყარი ნატანი ხვდება დაბლობ ველებში ან ნაკადების მიმღებ წყალსატევებში, ზღვებში და ოკეანეებში. წარმოიქმნება დელტები, ხოლო მათი წარეცხვის პროდუქტების ნაწილი გადაიტანება ნაპირების გასწვრივ და ხელს უწყობს სანაპირო ზოლის გაზრდას, ხოლო ნაწილი ჩაედინება ზღვების და ოკეანეების ფსკერში. დელტის წინსვლის პარალელურად მატულობს მათი წარეცხვის სიდიდე, სანამ არ დამყარდება დინამიკური წონასწორობა ჩადენილ და წარეცხილ ნატანის რაოდენობას შორის. ეს პროცესი, რომელიც გრძელდება საუკუნეების განმავლობაში სტაბილურია, სანამ არ შეიცვლება მდინარეთ მყარი ნატანის ჩამონადენის რაოდენობა, ანუ ნატანის ხარჯი (ნატანის გადატანის მოცულობა მდინარის კვეთში დროის ერთეულში).

თუ მყარი ჩამონადენის ხარჯი რაიმე მიზეზების გამო შემცირდა (კაშხლების აშენების გამო) ან საერთოდ შეწყდა (მდინარეთ გადაგდების ანუ კალაპოტის შეცვლით) ირღვევა დამყარებული დინამიკური წონასწორობა ზღვასა და ნაპირს შორის და იწყება დელტის და სანაპირო ზოლის ინტენსიური ეროზია. ამის კლასიკური მაგალითია ის პროცესები, რომლებიც წარმოიშვა ქ. ფოთის სანაპირო ზოლში როდესაც მოხდა მდინარის კალაპოტის შეცვლა (ქ.ფოთის წყალდიდობისაგან დაცვის მიზნით). დაიწყო სანაპირო ზოლის ინტენსიური წარეცხვა, რომელამაც შეაღწია ქალაქის ფარგლებს (ქ.ფოთის ორი კვარტალი ზღვამ შთნთქა). სამაგიეროდ რიონის ახალ შესართვში წარმოიქმნა ახალი დელტა, რომლის გარეცხვის პროდუქტები შედიოდა პორტში და იწვევდა მის დალექვას, საჭირო შეიქმნა მისი პერიოდული წმენდა. აუცილებელი გახდა მდინარე რიონის ნაწილის ძველ კალაპოტში (ქალაქის ფარგლებში) გადმოგდება, რისთვისაც მე-7-ე კილომეტრზე აშენდა წყალგამყოფი ნაგებობა. მართალია ამ ნაკადით ძველ კალაპოტში გადის მხოლოდ 500 მ³/წმ ხარჯი (ადრე ფოთის ფარგლებში კალაპოტები თვისუფლად ატარებდა 2000მ³/წმ წყლის ხარჯს), მიუხედავად ასეთი მცირე ნაკადისა მან შეაჩერა ფოთის სანაპირო ზოლის ეროზია და მცირედიდ აღიდგინა ზღვის მიერ წართმეული ამ ზოლის სიდიდე.

3. ნატანის ძირითადი თვისებები

ნატანის მოძრაობა ნაკადის ფსკერზე, მისი მოძრაობა შეწონილ (შეტივტივებულ) მდგომარეობაში და მათი დალექვა, დამოკიდებულია როგორც თვითონ ნატანის თვისებებზე, ასევე ნაკადის ჰიდრავლიკურ მახასიათებლებზე.

ნატანთ პრობლემების განხილვისას მათი თვისებები შეიძლება კლასიფიცირებულ იქნას როგორც:

- ა). ცალკეული მყარი ნაწილაკები;
- ბ). ნაწილაკები ნაკადებში;
- გ). ნატანთა ნაწიკალები მთლიანობაში.

ნაწილაკთა ყველაზე მთავარი ჰიდროლოგიური თვისებებია; ზომა, ფორმა და ხვედრითი წონა, რადგან ყველა ეს ერთად სითხის თვისებებთან ერთიანობაში განსაზღვრავს სითხეში მათი

ფარდობითი მოძრაობის პირობებს. ამავე დროულად ნაწილაკთა თვისებების განაწილების მრუდეებს, განსაკუთრებულად გრანუმატებული (ფრაქციული) შემადგენლობის განაწილების მრუდს, აქვს დაახლოებით ისეთივე დამოკიდებულება ნატანთ პრობლემასთან, როგორც გააჩნია ტურბულენტური ნაკადის სიჩქარეს თვით ნაკადის პრობლემასთან.

ნატანთა ყოველი თვისება უნდა იქნას დაყვანილი ერთ ან რამოდენიმე სტატისტიკურ პარამეტრთან, რომლებიც ახასიათებენ აღებულ სიმრავლეს მთლიანობაში. ამ შემთხვევაში თვითონ თვისება ან მათში ჩართული პარამეტრები შეიძლება გამოყენებულ იქნან საჭირო ანალიტიკური დამოკიდებულებების გამოყვანისას.

ნატანთა ისეთი ინტეგრალური მახასიათებლები, როგორცაა ფორიანობა და მოცულობითი წონა ბუნებრივ პირობებში, წამყვანებია გრუნტის წყლების შესწავლისას, ნატანთა ჯამური ჩამონადენის შეფასებისას და წყალსაცავების დალექვის პროგნოზირების შემთხვევაში.

წყალსაცავების პროექტირების დროს აუცილებელია მხედველობაში ვიქონიოთ, რომ დალექილი ნატანის მოცულობითი წონა, თავისი სიდიდით მერყეობს საკმაოდ დიდ საზღვრებში და იცვლება დაახლოებით 6-ჯერ. მოცულობითი წონის მცირე სიდიდეები შეესატყვისება (შეესაბამება) არაკონსოლიდირებულ ლექებს, ხოლო დიდები ჩვეულებრივად ქვიშოვან დანალექებს. ნატანთა მოცულობით წონაზე გავლენას ახდენს მათი გრანუმეტრიული შემადგენლობა და დანალექი ფენის სიდიდე (სისქე) განსახილველი ფენის ზევით, რომელიც აღიქვამს წნევებს მასზე დანალექი ნატანების მასებით.

4. ცალკეული ნაწილაკის თვისებები.

მყარი ნაწილაკის ყველაზე დამახასიათებელი თვისებაა მისი ზომა. გეომეტრიული ზომა რაღაც ხარისხში განსაზღვრავს ფორმის და ხვედრითი წონის გავლენას სითხეში მისი მოძრაობისას. ბევრი მეცნიერი ფიქრობს, რომ ზომა იძლევა ნატანის ნაწილაკების სრულ დახასიათებას მრავალი პრაქტიკული მიზნებისათვის. (ცხრილი 8, 9)

შედგენილია დიდი რაოდენობის ცხრილები ნაწილაკების ზომების სისტემატიზაციისათვის, რომლებიც ახლოს არიან საცერთა სტანდარტებთან.

ამ ცხრილებში მოცემულია ხუთი თანმიმდევრული კლასები: დიდი ზომის ლოდები, ღორღი, ხრეში, ქვიშა, ლექი და თიხა.

ლოდები და ღორღი ზოგადად არ იწვევენ დიდ ინტერესს და მათი ზომების დადგენა არ წარმოადგენს სირთულეს. ხრეში, რომელსაც გააჩნია ნაკლები ტრანსპორტირების უნარი ქვიშასთან შედარებით, თამაშობს მნიშვნელოვან როლს ადგილობრივი გარეცხვის პრობლემებში, ამცირებს რა მის სიდიდეს. ხრეშის ნაწილაკების ზომა შედარებით ადვილად დაიყვანება ექვივალენტურ სფერული ფორმის ნაწილაკების დიამეტრებთან.

ქვიშა, პრაქტიკული თვალსაზრისით არის ნატანის ერთ-ერთი განსაკუთრებით მთვარი კლასი. მათი ნაწილაკების ზომები ირკვევა მათი საცრებში გაცრით, რომელთა უმცირესი ზომა (1/16 მმ), შეესაბამება უწვრილეს საცერს, რომელთა გამოყენება შეიძლება ნაწილაკთა ზომების დასადგენად. რადგანაც ლექის ნაწილაკთა ზომები მდებარეობს საცრის ხვრეტების მიღმა, მათი სიდიდეები დგინდება მიკროსკოპის მეთოდით ან სხვა ტექნიკური საშუალებებით. ამ თვალსაზრისით გამყოფი ხაზი ქვიშასა და ლექს შორის არის ბუნებრივი, ვინაიდან 1/16 მმ

წარმოადგენს პირობითი კვარციტული ბურთულის უდიდეს ზომას, რომელიც ილექება წყალში სტოქსის კანონით, ასევე წარმოადგენს ნაწილაკების ზომების უმაღლეს ზღვარს, რომლებიც მდებარეობენ ნაკადისაგან გარეცხილ ნატანში. ასეთი ნაწილაკები თნაბრად ნაწილდება ნაკადის მთელ სიღრმეზე ფსკერიდან ზედაპირამდე.

თიხოვანი ნაწილაკების არსებობას და მათი ზომების დადგენას არა აქვს დიდი მნიშვნელობა ნაკადის მიერ გადატანილი მასალისათვის ვინაიდან ისინი ტრანსპორტირდება კოლოიდურ სუსპენზიასთან ახლო მდგომარეობაში. მაგრამ მყარი ნატანის ეს ფრქვია წამყვანია მდინარის წყალში გახსნილი ფორმით ელემენტი შემცველობისა და მიგრაციის ფორმების ჩამოყალიბებისათვის.

ნატანთა ანალიზის დროს ზომის ყველაზე მოსახერხებელ პარამეტრს წარმოადგენს მისი სფერულობა, რომელიც დგინდება როგორც ფარდობა ბურთულის ზედაპირის ფართისა (რომელსაც გააჩნია იგივე მოცულობა როგორც ნაწილაკს) ნაწილაკის ზედაპირის ფართთან.

სფერულობა უნდა განვასხავოთ სიმრგვალისაგან. ეს უკანასკნელი განისაზღვრება, როგორც ფარდობა მრუდის საშუალო რადიუსისა წრეხაზის რადიუსთან, რომელიც ჩაიწერება ნაწილაკის დიამეტრულ ჭრილში.

სფერულობის მნიშვნელობა მდგომარეობს იმაში, რომ ის გავლენას ახდენს ნატანის ფარდობით მოძრაობაში ნაკადსა და ნაწილაკებს შორის. სიმრგვალე კი საინტერესოა როგორც ცვეთის მაჩვენებელი, რომელსაც განიცდის ნაწილაკი მოძრაობის დროს. ნაწილაკის ზომის შემცირებით მცირდება, როგორც მისი სფერულობა ასევე სიმრგვალე. მაგრამ სფერულობა მნიშვნელოვან ხარისხად დამოკიდებულია აგრეთვე ნაწილაკის მინერალურ შემადგენლობაზე.

ვინაიდან პრაქტიკულად ყველა სამდინარო ნატანი წარმოიშვება როგორც მატრეიკული ქანების რღვევის პროდუქტი, ყველა ელემენტი რომლისგანაც შედგება ეს ქანები, შეიძლება ნაპოვნი იქნას მდინარეთა ნაკადებში ან მათ ფსკერზე. ჰიდრავლიკებისთვის, წყალში შეწონილი მყარი ნაწილაკები არ წარმოადგებენ მყარი ნატანის ნაწილს, თუმცა ნარღვევი ქანების დაახლოებით 20% გადაიტანება მდინარეებით წყალში შეწონილი მდგომარეობაში. მყარი ნატანი ძირითადად კვარციტებია ხვედრითი წონით 2.65 გრ/სმ³

რამდენადაც ნაწილაკის ზომას, ფორმას და ხვედრით წონას აქვს მნიშვნელობა წყლის და ნატანის ურთიერთქმედების დროს, სასურველი იქნებოდა გვეჩვენა ნატანთა ფრაქციებისათვის რაიმე ეფექტური მახასიათებლის შკალა, რომლებიც გააერთიანებდა მის ზემოთ ჩამოთვლილ პარამეტრებს. ასეთ მახასიათებელს წარმოადგენს ნაწილაკის თავისუფალი ვარდნის სიჩქარე წონასწორობაში მყოფ სითხეში ანუ **ჰიდრავლიკური სისხო**.

5. ზოგიერთი ცნობები მდინარეთ მყარი ნატანის ჩამონატანზე აჭარის რეგიონში.

გასაგებია, რომ მყარი ნატანის ჩამონადენის რაოდენობა მდინარეების მიერ ერთნაირი ვერ იქნებოდა.

ჩვენს მიერ ადრე ჩატარებულმა ლიტერატურულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ აჭარის რეგიონში ყველაზე მეტი მყარი ნატანი შემოჰქონდა მდინარე ჭოროხს. მისი წილი შეადგენდა დაახლოებით 96%-ს. სამხრეთ-დასავლეთის გაბატონებული ქარების ზეგავლენით შემოტანილი

მყარი ნატანი გადაადგილდებოდა ჩრდილოეთის მიმართულებით და კვებავდა აჭარის სანაპირო ზოლს ქობულეთამდე.

მდინარეთა მყარი ნატანის ჩმოდინება და მათი როლი სანაპირო ზოლის ფორმირებაში.

ცხადია, რომ საჭიროა დადგინდეს, რომელ მდინარეს რა რაოდენობის ნატანი გააჩნია. მდინარე აჭარის წყალის მყარი ჩმონადენის საშუალო წლიური ხარჯი ქედაში 1970-74 წლებში იყო კგ/წმ.

წლები	1970	1971	1973	1974	
საშუალო წლიური ხარჯი G(კგ/წმ)	18,6	16,0	18,0	15,4	ΣG=68

ე.ი. საშუალო მრავაწლიური (1970-74) ხარჯი შეადგენდა $G_{საშ.(ქედა)}=68,00/4=17,00$ კგ/წმ
 ხოლო წლიური ჩმონადენი ქედაში იყო 17 კგ/წმ $\times 31536000$ წმ $=536112000$ კგ.
 ანუ 315360000 კგ/ 2500 კგ/მ $^3=214444$ მ 3 (წელიწადში)
 მდინარე აჭარის წყლის მყარი ნატანის ჩმონადენი (1962-1973 წ) ხულოში იყო

წლები	1962	1966	1968	1971	1973	
საშუალო წლიური ხარჯი G(კგ/წმ)	11,0	3,4	11,0	3,4	3,5	ΣG=32,3

ე.ი. საშუალო მრავაწლიური (1962-73წ) მყარი ნატანის ხარჯი შეადგენდა
 $G_{საშ.(ხულო)}=32,3/5=6.46$ კგ/წმ
 ხოლო წლიური ჩმონადენის მოცულობა ხულოში იყო
 $W_{საშ.(ხულო)}=6,46 \times 31536000 / 2500 = 81484$ მ 3 (წელიწადში)
 ანუ მატების კოეფიციენტი ხულოდან ქედამდე შეადგენს
 $k=214444$ მ $^3 / 81484 = 2,63$
 ანუ 263%

მათ შორის არის 3 შენაკადი და შეგვიძლია ჩავთვალოთ სამივე ერთი დონისაა და ამიტომ თვითოეული შენაკადის გავლენა, ანუ მატება იქნება 88%, რადგანაც ქედასა და ერგეს (ჭოროხის შესართავთან) შორის არის ერთი შენაკადი (მერისი) და დავუშვებთ მისთვისაც მატება იქნება 88% ანუ მატების კოეფიციენტი $(1+88/100)=1,88$ მაშინ ერგეში აჭარის წყლის მყარი ნატანის წლიური ჩმონადენი

$$W_{საშ.წლ.(ერგეში)}=214444 \times 1,88 = 403155$$

1980-90 წლების ჰიდროლოგიური დაკვირვებები არსებობს მდინარეებზე: მაჭახელისწყალი, აჭარისწყალი, საციხური (გორჯომი), აკავრეთი (მერისი), ფოცხოვი, ქვაბლიანი, კინტრიში, ჩაქვისწყალი, ჭოროხი ეს მონაცემები ხელნაწერის სახით ინახება საქართველოს ჰიდრომეტროცენტრის სამმართველოში.

ჰიდროლოგიური, ტოფოგრაფიულ-ენერგეტიკული მასალა მოცემულია შემდეგ მდინარეებზე: აჭარის წყალი, ჩოლოქი, დეხვა, კინტრიში, კინკიმა, ჩქვისწყალი, ქოროლისწყალი, ქოროხი, მაჭახელისწყალი, აჭრისწყალი, საციხურა (ბორჯომი), სხალთა, ჭირუნისწყალი, ჭვანისწყალი, აკავრეთი(მერისი), ფოცხოვი, ქვაბლიანი, ოცხე(აბასთუმანის წყალი), მოდულის წყალი, ტბეთი.

გათვალისწინებული ჰესები აჭარის მდინარეებზე:

აჭარაში 30 მდინარეზე დაგეგმილი 44 ჰესის ჩამონათვალი. ესენია:

მდინარე აჭარის წყალზე 4 სადგური:

1.სხეფი ჰესი; 2. ზამლეთი ჰესი; 3. დიდაჭარა ჰესი; 4. კორტოხი ჰესი.

მდინარე ჭირუნის წყალზე: 2 სადგური:

1.შუახევი ჰესი ;2. ჭირუხი ჰესი 1

მდინარე ტბეთიზე 4 სადგური;

1.დვანი ჰესი; 2. ჭირუხი ჰესი 2; 3. ჭირუხი ჰესი 3; 4.ოლდაური ჰესი.

მდინარე აკავრეთზე (მერისი) 2 სადგური

1. ქედა ჰესი; 2. გუნდაური ჰესი

მდინარე მაჭახელის წყალზე 1 სადგური –ჩხუტუნეთი ჰესი (ხელვაჩაური).

მდინარე კინტრიშიზე 2 სადგური:

1.კინტრიში ჰესი (ქობულეთი); 2. ჭახათი ჰესი.

მდინარე ქოროლის წყალზე სამი სადგური:

1. სალიბაური ჰესი; 2. წინსვლა ჰესი; 3. ქოროლი ჰესი.

მდინარე სხალთაზე 2 სადგური:

1.კინჭაური ჰესი; 2. მმაგულა ჰესი.

მდინარე ჩარნალზე 1 სადგური –ჩარნალი ჰესი.

მდინარე მახოზე 1 სადგური– მახო ჰესი.

მდინარე ბოლოკოზე 1 სადგური –თხილნარი ჰესი.

მდინარე მოდულის წყალზე 1 სადგური –მოდული ჰესი.

მდინარე ტაბახმელისწყალზე 1 სადგური –ბოძაური ჰესი.

მდინარე ხოხნისწყალზე 1 სადგური –ხოხნი ჰესი.

მდინარე პოსადანისწყალზე 1 სადგური – პოსადანი ჰესი.

მდინარე ჭვანისწყალზე 2 სადგური:

1.ჭვანი ჰესი; 2. ცხემლის ჰესი.

მდინარეების ჭირუნის წყალი და მისი შენეკადი მდინარე სანალიას გაერთიანებულ ჩამონადენზე

1 სადგური– სანალია ჰესი.

მდინარე ბარცხანზე (შავიზღვის შენაკადი) 2 სადგური

1.სამეზა ჰესი; 2. ბარცხანა ჰესი.

მდინარე კალასკურზე 1 სადგური –კალასკური ჰესი.

მდინარე ბარცხანაზე (აჭარის წყლის შენეკადი) და მდინარე დოლოგანზე 1 სადგური – დოლოგანი ჰესი.

მდინარეებზე ჭვინტი და ბზუ–ბზუ 1 სადგური –ბზუ–ბზუ ჰესი.

მდინარე ცონიარის წყალზე 1 სადგური –ცონიარი ჰესი.

მდინარე უსახელოზე 1 სადგური –ახო ჰესი

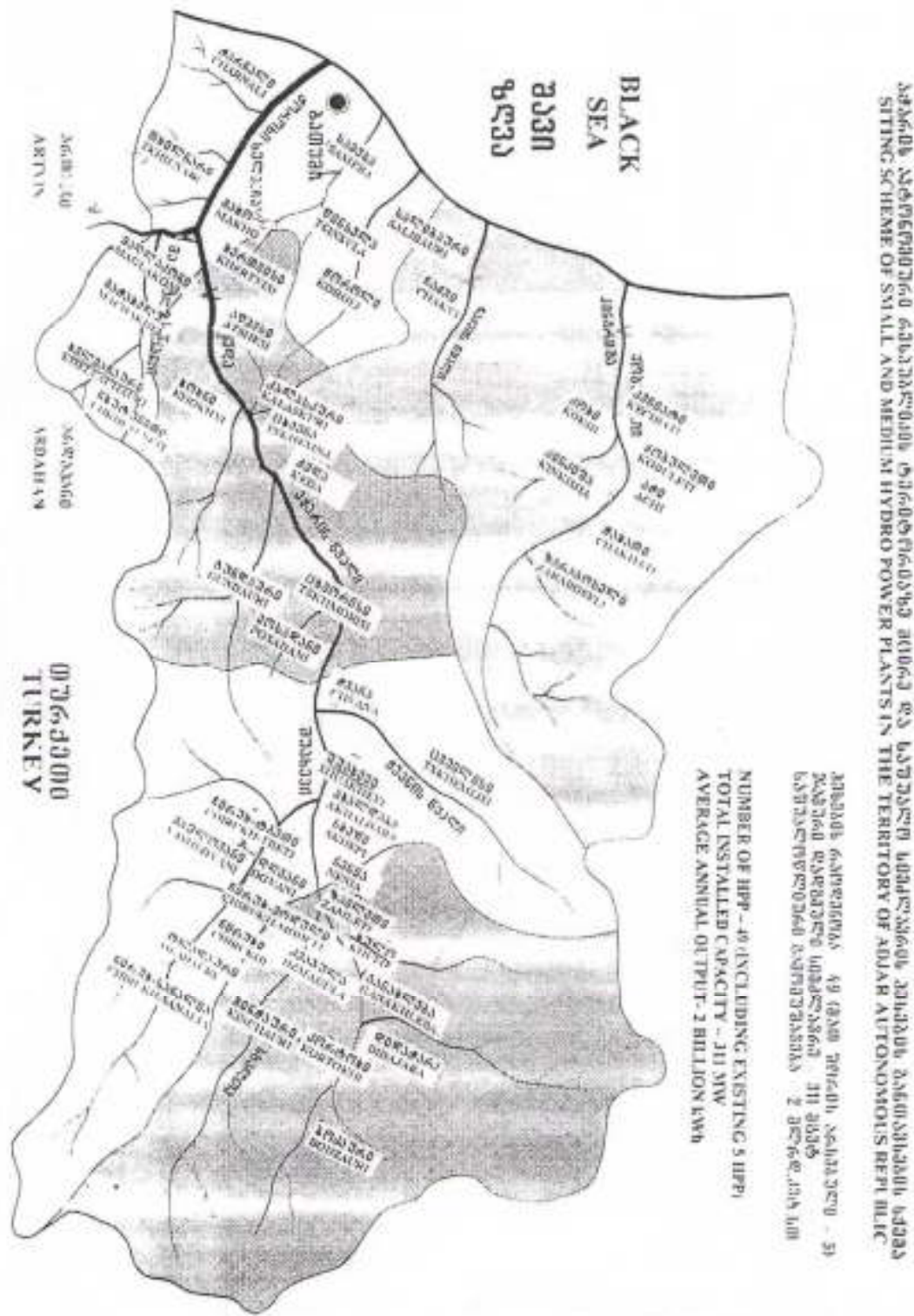
მდინარე სურნალის წყალზე 1 სადგური –ცხომრისი ჰესი

მდინარეებზე გორჯომი და დიაკონიძე 1 სადგური –ხულო ჰესი

მდ. კოპრონისიზე 1 სადგური –კოხი ჰესი.

სულ 30 მდინარეზე მომავალში გათვალისწინებულია 44 ჰესის მშენებლობა.

ნახ. 1. მოცემულია აჭარის ტერიტორიაზე აღნიშნული ჰესების განთავსების სქემა.



ნახ. 6

როგორც ვნახეთ მდინარე ჭოროხი წარმოადგენს ნაპირშემქმნელი ნატანის თითქმის ერთადერთ ბუნებრივ წყაროს აჭარის სანაპიროზე. მისი წილი შეადგენს 96%-ს, ე.ი. სხვა მდინარეების როლი მეტად უმნიშვნელოა (4%).

ჭოროხის მყარი ჩამონადენი, როგორც ავღნიშნეთ შეადგენდა 7 მილიონ კუბურ მეტრს და აქედან 2.5 მილიონ კუბურ მეტრს ნაპირშემქმნელს წელიწადში.

მდინარე ზღვას უერთდებოდა ორი ტოტით. ჩრდილოეთი ტოტი ზღვას ერთვოდა თანამედროვე შესართავის ჩრდილოეთით სამ–ოთხ კილომეტრში. ახლანდელი მდინარე მეჯინას ადგილას მისი წილი წყლის ხარჯი შეადგენდა მთელი ხარჯის 60%-ს, ხოლო სამხრეთი ტოტი კი ჩაედინებოდა ზღვაში თანამედროვე შესართავიდან სამხრეთით დაახლოებით ორ კილომეტრში. მათ შორის არსებული დელტის სიგრძე ნაპირის გასწვრივ შეადგენდა დაახლოებით 6 კილომეტრს. ის, რომ დამბების საშუალებით განხორციელდა ჭოროხის ჩადინება ზღვაში ერთი კალაპოტით წარმოადგენდა დიდ შეცდომას, ვინაიდან მდინარის შესართავის წინ აღმოჩნდა წყალქვეშა კანიონი, სადაც დაიწყო ჭოროხის მყარი ჩამონადენის უდიდესი ნაწილის (~80%) კარგვა დიდი სიღრმეებში. რის გამოც ნაპირშექმნილი მასალა ხუთ–ექვსეჯერ შემცირდა და შეადგინა 500–400 ათასი კუბური მეტრი.

აქედან ნაწილი, დაახლოებით 40–50 ათას მ³–ი გადაადგილდებოდა ჩრდილოეთით და ბათუმის კონცხის შემოვლით აღწევდა მდინარე ნატანების შესართავამდე. ეს განაპირობებდა ბათუმი–ქობულეთის სანაპირო ზოლის სტაბილურობას.

როდესაც აშენდა ბათუმის პორტი, საპორტო აკვატორიაში ნატანის მოხვედრით დასილვა გამეჩხერების თვიდან ასაცილებლად, პორტში სანაოსნო სიღრმეების უზრუნველსაყოფად და დიდი ტალღებისაგან დასაცავად სამხრეთ შესასვლელში, ბათუმის კონცხთან ზღვაში აშენდა 250 მეტრი სიგრძის საპორტო მოლი, რასაც მოყვა ნატანის მოძრაობის თითქმის სრული ბლოკირება და შესაბამისად ნაპირების ფორმირების ბუნებრივი პირობების დარღვევა. სამაგიეროდ დაიწყო პორტის სამხრეთით მყარი მასალის ინტენსიური დაგროვება და ბათუმის ნაპირის სწრაფი ზრდა, რაც გაგრძელდა ზოლის შევსებამდე.

აქ ნაპირი იმდენად გაიზარდა, რომ ბათუმის სანაპირო პარკი და ფეხბურთის სტადიონი ამ ახლად გაჩენილ ხმელეთზეა განლაგებული, ვინაიდან მოლის წვერი მიახლოებული იყო ბათუმის წყალქვეშა კანიონის სათავეს, შემდეგში თითქმის მთელი ნატანი იყრებოდა კანიონში და სამუდამოდ იკარგებოდა სანაპირო სისტემისათვის.

70–იანი წლებიდან თურქეთში ინტენსიურად დაიწყო გზების მშენებლობა, რისთვისაც მასალის მოპოვება წარმოებდა ჭოროხის კალაპოტიდან ქვიშა-ხრეშის ამოღებით. ამან შეამცირა აჭარის ტერიტორიაზე ჭოროხით ჩამონადენი მყარი ნატანის რაოდენობა და დაიწყო სანაპირო ზოლის წარცხვა. განსაკუთრებით ეს დაეტყო ადლიის სანაპიროს. ეს პროცესი რომ დაწყებულია კარგად ჩანს გონიოს და მახოს ხიდების დაკვირვებით, ისინი საკმაოდ ამალღებულია რაც მიუთითებს კალაპოტის ნიშნულის დაწვევაზე ანუ სიღრმით ეროზიაზე. ჭოროხიდან დაიწყო მყარი ნატანის ამოღება და დაყრა ადლიის სანაპირო ზოლზე.

მდინარის კალაპოტიდან და დელტადან ქვიშა ხრეშის ამოღება მხოლოდ ადლიის სანაპიროს გამაგრების მიზნით არ წარმოებს, აღნიშნული რესურსით ბევრი სამშენებლო კომპანიებიც სარგებლობს, რომლებსაც ზოგს აჭარის ფინანსთა და ეკონომიკის სამინისტროსგან გაცემული ლიცენზიები გააჩნია, ხოლო ზოგი საერთოდ უკანონოდ (ულიცენზიოდ) ახორციელებს ქვიშა ხრეშის ამოღებას. ასეთ კომპანიებს ურჩევნიათ გადაიხადონ ჯარიმა უკანონო ქმედებისათვის, ვინაიდან ჯარიმა ორ სამჯერ უფრო მცირეა ვიდრე სალიცენზიო მოსაკრებელი.

ცხადია მყარი მასების ამოღება მხოლოდ ნაპირგამაგრებისათვის უნდა იყოს შესაძლებელი. ხოლო სამშენებლო კომპანიები კი მთის კარიერის დამუშავებაზე უნდა გადავიდნენ.

იგივე მოსაზრება აქვთ აჭარის გარმოს დაცვის სამმართველოშიც. 1990–იანი წლების მეორე ნახევრიდან დაიწყო კაშხლების მშენებლობა თურქეთში. ცხადია, რომ მშენებლობისათვის საჭირო მასალის მოპოვება მოხდა მდინარის კალაპოტიდან. ზემოხსენებულის შედეგად აჭარის სანაპირო ზოლში შეიქმნა ნაპირშემქმნელი ნატანის მწვავე რაოდენობრივი დეფიციტი, რამაც გამოიწვია მკაფიო გამოხატული ეროზიული პროცესების განვითარება. თურქეთის ენერჯტიკის სამინისტროს დაგეგმილი აქვს ჭოროხზე ათი და მის შენეკადებზე ხუთი ჰიდროელექტროსადგურის აშენება. მშენებლობა უკვე დაწყებულია. დასრულებულია სამი კაშხლის მშენებლობა. 1997 წლიდან დაიწყო მურათლის, ბორჩხასა და დემირელის კაშხლების შენება. ამასთან დაკავშირებით 1998 წლიდან დაფიქსირდა ნატანის რაოდენობრივი და ხარისხობრივი შემცირება. ხოლო 2002 წლიდან, როდესაც მდინარე ჭოროხი გადალაგებული იქნა გვირაბებში, ნატანის მოწოდება შეწყდა.

კიდევ უფრო მძიმე მდგომარეობაში აღმოჩნდება იმ ჰესების აშენების შემდეგ, რომლებიც დაგეგმილია აჭარის მდინარეებზე.

ცხადია უნდა შემუშავდეს ღონისძიებები ამ მდინარეებზე მყარი ნატანის გადასატანად კაშხლების ქვედა ბიეფში და მათი შემდგომი ტრანსპორტირებისათვის.

ფსკერული ნატანის მოძრაობის არსებული მეთოდების განხილვა.

ფსკერზე მდებარე ნაწილაკის მოძრაობის განხილვისას უნდა გავარჩიოთ ორი შემთხვევა; როდესაც d დიამეტრის ნაწილაკი მთლიანად ჩძირულია ნაკადის ფსკერულ ფენაში η ანუ $\eta > d$, და როდესაც ნაწილაკი ამოდის აღნიშნული ფენიდან ე.ი. $\eta < d$ მაგრამ პირველ შემთხვევაში ნაწილაკზე მოქმედი სიჩქარეები არ არის საკმარისი მის გადასაადგილებლად, რადგან ფსკერული η ფენის სიჩქარე მცირეა. ამიტომ საკმარისია განვიხილოთ მხოლოდ მეორე შემთხვევა როდესაც $\eta < d$ -ზე. ამ დროს ვგულისხმობთ, რომ ნაწილაკზე მოქმედებს ფსკერული ფენის მაქსიმალური u_η სიჩქარე. თუ ამ ფსკერულ სიჩქარეს აღვნიშნავთ u -ით შეგვიძლია დავწეროთ, რომ d დიამეტრის ნაწილაკზე მოქმედი ძალა S -ი ტოლია:

$$S = fd^2u^2 \quad (1)$$

ანუ ფსკერზე თვისუფლად მდებარე ნაწილაკზე მოქმედი ძალა პროპორციულია დიამეტრის საზღვრებში მოქმედი სიჩქარის კვადრატის და ნაწილაკის კვეთის ფართის - d^2 -ის f წარმოადგენს ნაწილაკის ფორმის კოეფიციენტს.

მეორე მხრივ ძალა, რომელიც ეწინააღმდეგება ნაწილაკის დაძვრას, წყალში მისი წონის პროპორციულია ე.ი.

$$P = Kd^3(\gamma_n - \gamma) \quad (2)$$

სადაც:

γ_n და γ შესაბამისად ნაწილაკის და სითხის ხვედრითი წონებია.

K - პროპორციულობის კოეფიციენტი.

ამ ძალების გატოლება მოგვცემს წონასწორობის ზღვრულ მდგომარეობას. ამ შემთხვევაში ნაწილაკზე მოქმედი სითხის სიჩქარე u_0 , ანუ სიჩქარის ის ზღვრული (მინიმალური) სიდიდე, რომლის დროსაც ნაწილაკი დაიძვრება ადგილიდან იქნება

$$u_0^2 = d \left[\frac{(\gamma_n - \gamma)K}{f} \right] \quad (3)$$

ეს კი ნიშნავს, რომ ფსკერზე გადაადგილებული ნაწილაკის ხაზოვანი სიდიდე პროპორციულია გადაადგილების სიჩქარის u^2 -ს ხოლო ჩვენს შემთხვევაში, როდესაც ნაწილაკი ზღვრულ წონასწორობაშია, ზღვრული სიჩქარის u_0 -ის კვადრატის პროპორციულია. ეს კი იგივეა, რომ (თუ შევცვლით ნაწილაკის დიამეტრს მისი მოცულობით ან წონით) ზღვრულ წონასწორობაში მყოფი ნაწილაკის წონა პროპორციულია u_0 სიჩქარის მეექვსე ხარისხის

$$F = Au_0^6 \quad (4)$$

ანუ ფსკერზე გადაადგილებული ნაწილაკების წონა პროპორციულია მათზე მოქმედი u სიჩქარის მეექვსე ხარისხს.

$$F = Au^6 \quad (4^a)$$

ეს წარმოადგენს სწორად ერი-ს კანონს (1885წ), რომელიც მართებულია იმ შემთხვევისათვის როცა:

ა) ნაწილაკის ზომა ძალზე მცირეა ნაკადის სიღრმესთან შედარებით.

ბ) ნაკადის სიჩქარე იმდენად დიდია, რომ ფსკერული ფენა (l) ბევრად მცირეა ნაწილაკის ზომაზე (d).

ამ შეზღუდვების გარეშე ერის კანონი კარგავს მის უცილებელ მნიშვნელობებს. მეორე მხრივ პრაქტიკაში ეს პირობები თითქმის (98%) ყოველთვის სრულდება, ამიტომ ჩვენ შეგვიძლია ჩვთვლოთ, რომ ეს კანონი მეტ-ნაკლებად უნივერსალურია. ის თვალსაჩინოდ გვიხსნის თუ რატომ, რომ სიჩქარეების უმნიშველო სხვაობის შემთხვევებში მთის მდინარეები გადაადგილებენ ბევრად დიდი ზომის ნატანებს ვიდრე ბარის მდინარეები. თუ სიჩქარეების ფარდობაა 1:2:3 გადაადგილებული ნატანების წონათა ფარდობა შესატყვისად იქნება 1:64:729.

ზოგი ავტორი თვლის, რომ ნაწილაკი მოძრაობის საწყის მომენტში სრიალებს ფსკერზე და გამოყავთ კრიტიკული სიჩქარის განტოლება, ნაწილაკის ზღვრული მდგრადობის დამკრის პირობიდან ამ ავტორებს ეკუთვნიან: სანჟენი, კიუტერი, ტერი, ნეი, გ.ი.შამოვი, ი.ი. ლევი, ლ.გ.გველესიანი, მ.ა. მასტკოვი, გ.დ.რუბინშტეინი და სხვები.

სხვა ავტორები თვლიან, რომ ნაწილაკები მოძრაობის დაწყებისას გადაბრუნდებიან და ზღვრული წონასწორობის განტოლებას ადგენენ ამის გათვალისწინებით. ამ ავტორებს ეკუთვნიან: ერი, შოკლიჩი, ვ.ნ. გონჩაროვი, ვ.ს. კნოროზი, ც.ე. მირცხულავა და სხვები.

ყველა ეს განტოლებებისაბოლოოდ იღებენ შემდეგ სახეს:

$$V = k\sqrt{d} \quad (5)$$

ანუ ყველა მათთვის ხდება ერის კანონის შენარჩუნება.

ცალკე დგანან ავტორები, რომლებსაც გამოყავთ კრიტიკული სიჩქარის მნიშვნელობა მამოძრავებელი ძალიდან.

$$S = \gamma h i \quad (6)$$

ამ ავტორებს ეკუთვნიან: ი.ვ. ეგიაზაროვი, ი.ბ. ბოდრაიშკინი, ი.ი. ორლოვი, სუმბორგი, ნაკაიამა და სხვები. ეს განტოლებები ასევე დაიყვანება სახემდე:

$$V = k\sqrt{d}$$

არსებობს ავტორების ჯგუფი, რომლებიც თვლიან, რომ ზღვრული წონასწორობის პირობებში მყოფი ნაწილაკები იმყოფებიან არა კვადრატულზონაში, არამედ წინაღობის გადასასვლელ უბანში, ამიტომ მათი წინაღობა დამოკიდებული არა ხარისხის კვადრატზე, არამედ ნაკლებ ხარისხზე. ამიტომ შეიქმნა ეპიურული და ნახერად ეპიურული დამოკიდებულებები. ამ ავტორების რიცხვს ეკუთვნიან: გ.ლ. ზამარინი, ს.კ.რევიაშკო, ლ.ს.კლიაჩკო, გ.მ.ზულიკოვი, ი.ი. ხერხეულიძე, ბოგარდი, ფ.გ. მელისი, ჯილბერტი და სხვები.

შაფერნაკი აკვირდებოდა, რომ ნაკადის შედარებით მცირე სიჩქარეების შემთხვევაში ვიდრე ის სიჩქარეები, რომლის დროსაც წარმოებს მყარი ნატანის ფრაქციაში შემავალი ყველა ნაწილაკის გადაადგილება, შედარებით მცირე დიამეტრის ნაწილაკები გადაადგილდება უფრო

სწრაფად, ვიდრე დიდი ნაწილაკები, რაც იწვევს კალაპოტის მოკირწყვლას შედარებით დიდი ფრაქციებით და შესაბამისად მისი მდგრადობის გაზრდას ეროზიისადმი.

ა.შ.შ-ის საწყალოსნო გზების სადგურის ექსპრტიმენტულმა გამოკვლევებმა (1935 წ.) დაადგინეს, რომ მოძრაობის დაწყებით სტადიაში ანუ ნატანის გადაბრუნების დაწყების მომენტში შედარებით დიდი ზომის ნაწიკალები გადაადგილდებოდა უფრო ჩქარა, ვიდრე მცირე სიდიდის.

როგორც ვხედავთ ეს კვლევები ეწინააღმდეგებიან ერთმანეთს.

თუ ნაწილაკის სიგრძეს და სიგანეს (გეგმაში) აღვნიშნავთ a და b -ით, ვნახავთ რომ $\frac{a}{b}$ - ხარისხის მაჩვენებელი (y) სხვადასხვა ავტორების მიხედვით იცვლებიან 0,05 დან 0,5 მდე. ხოლო ეს ა.ს. კლიაჩკის მიხედვით თუ $d \leq 8$, დიამეტრის გავლენა საერთოდ არ შეიმჩნევა, ანუ ხარისხის მაჩვენებელი ტოლია ნულის.

ხშირად, პრაქტიკაში, მოძრაობის დაწყების საანგარიშოდ იყენებენ კრიტიკულ სიჩქარის და კრიტიკულ მამოძრავებელ ძალის მაგივრად, სითხის ნაკადის ზღვრულ ელემენტალურ ხარჯს (q) და კალაპოტის ქანობის (i).

ის შედის ჯილბერტის ფორმულაში

$$q_0 = \left(\frac{b}{a}\right)^{0.98} \frac{d^{0.568}}{i^{1.589}} \quad (7)$$

შოკლიჩი (1934 წ.) იძლევა:

$$q_0 = \frac{0.00001944d}{i^{4/3}} \left(\frac{m}{wm}\right) \quad (8)$$

მეიერ-პეტერი (1934წ.)

$$q_0 = \left(\frac{bd}{i}\right)^{1.5} \quad (9)$$

ასთივე სახის დამოკიდებულებებს იძლევიან: მაკ-დუგლი, ხერხეულიძე, კაზმანი და სხვები.

ღონისძიებები, მდინარეთა მყარი ნატანის გადასატანად კაშხლების ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში მათი შემდგომი ტრანსპორტირებისათვის.

მყარი ნატანის ტრანსპორტირების საშუალებები.

მყარი ნატანის ტრანსპორტირება შეიძლება განხორციელდეს როგორც დაწნევიანი ასევე უდაწნეო წყალდენებით. თუ ასეთი წყალდენი დიდი სიგრძისაა პრიორიტეტი ენიჭება უდაწნეო წყალგამტარებს. ვინაიდან ნატანის მოძრაობა იწვევს წყალდენის (გვირაბი, მილსადენი, არხი) ფსკერის ინტენსიურ ეროზიას და მის შესაკეთებლად ხელსაყრელია ღია ტიპის წყალდენი. გარდა ამისა ღია არხები შეიძლება განხორციელებული იყოს მოპირკეთებული ან ნაწილობრივ მოპირკეთებული ზედაპირებით. ნაკადების შეტბორვის პირობებში ზედა ბიეფებში სიღრმის გაზრდასთან დაკავშირებით იწყება მდინარის მიერ ნატანის ტრანსპორტის უნარიანობის კლება. ყველაზე დიდი ფრაქციები შეჩერდებიან იმ კვეთში სადაც წარმოებს შეტბორილი ნაკადის შეუღლება ბუნებრივ ნაკადთან. სწორედ ამ კვეთიდან უნდა იქნას მყარი ნატანის მოცილება და მისი ხელოვნური წყალდენით (არხით) ტრანსპორტირება მდინარისგან მოცილებით. საჭიროა დავადგინოთ შეტბორვის კვეთის მდებარეობა და მყარი ნატანის ტრანსპორტირებისთვის საჭირო წყლის ხარჯი.

შეტბორვის ზონიდან მყარი ნატანის ხელოვნური წყალდენებით ტრანსპორტირების საჭიროების დასაბუთება.

კლასიკური ფორმულები შეტბორვის წირის სიგრძის დასადგენად მცირე და საშუალო სიმაღლის კაშხლების შემთხვევაში, გამოსაყენებელია მხოლოდ საწყის ეტაპზე. იწყება კალაპოტის ფორმირება მყარი ნატანით, რაც იწვევს მდინარის ჰიდრაულიკური მახასიათებლების ცვლილებას და კალაპოტის ფორმის შეცვლას. კალაპოტის ფორმირების პროცესში იცვლება შეტბორვის წირის სიგრძე და ეს გრძელდება მდინარის ზედა ბიეფის ფორმირების დამთავრებამდე.

ცხადია ნატანის შეკავება ზედა ბიეფში გავლენას ახდენს ქვედა ბიეფის მდგომარეობაზე, ვინაიდან "სუფთა" ნაკადის მოძრაობა იწვევს ქვედა ბიეფის ფსკერის ადგილობრივ და საერთო ეროზიას და ეს გრძელდება სანამ არ დამთავრდება ზედა ბიეფის ფორმირება.

ზედა ბიეფის ფორმირება

შეტბორვის შექმნის შემდეგ ზედა ბიეფის ფორმირება დამოკიდებულია, როგორც სითხის ხარჯზე, ასევე მოძრავი მყარი ნატანის რაოდენობაზე და მის ფრაქციულ შემადგენლობაზე.

მდინარეთა მთის და მთისწინა უბნებზე ზედა ბიეფი ძირითად ფორმირდება ფსკერული ნატანის ხარჯზე.

მრავალწლიანი ნატურული კვლევების საფუძველზე [3,4,5] მოგვყავს მდინარეთა ბიეფების ფორმირების პერიოდების აღწერა.

პირველი პერიოდი, ეს არის საწყისი პერიოდი, როდესაც ზედა ბიეფში იწყება შეწონილი ნატანის დალექვა და ფსკერული ნატანის შემოსვლა, ხოლო ქვედა ბიეფში წარმოებს კალაპოტის გაძლიერებული ადგილობრივი და საერთო წარეცხვები.

ამ დროს ფსკერული ნატანი და შეწონილი ნატანის მსხვილი ფრაქცია მთლიანად ლაგდება ზედა ბიეფში, ხოლო ნატანისაგან განთავისუფლებული –"სუფთა" ნაკადი გადაედინება ქვედა ბიეფში.

ზედა ბიეფისათვის პირველი პერიოდის დასრულებად შეიძლება ჩათვალოს მომენტი, როდესაც კაშხალზე დაიწყება ფსკერული ნატანის გადადინება და შეწონილი ნატანის მთლიანი გასვლა ქვედა ბიეფში (არანაკლებ 96%). [3,5]

ამ პერიოდის განმავლობაში ფსკერული ნატანი განლაგება შეტბორვის წირის ამოსოღვის კვეთში, აფორმირებს შეუტბორავ ბიეფს სისტემარეზერვუარად ამალღებს მის ფსკერს და მდინარის ზედაპირის ნიშნულს. ამ დროს ის ხნულის სახით გადაადგილღება ქვემოთ მდინარის შეტბორილ ზონაში კაშხლისაკენ, სანამ არ მიაღწევს მას და დაიწყებს ქვედა ბიეფში გადადინებას. მაგრამ დასიღვა პირველ პერიოდში არ მთავრღება. მყარი ნატანის საწყის ხნულში ტრანსპორტირღება ფსკერული ნატანის მხოლოდ წვრილი ფრაქცია, ხოლო უფრო მსხვილი ფრაქცია, რომელსაც სჭირღება ნაკადის უფრო დიდი ტრანსპორტირღების უნარი, განლაგღებიან ფორმირღებადი კალაპოტის სიგრძეზე, იწვევენ ნაკადის ქანობის და ტრანსპორტირღების უნარის გაზრღდას.

ბიეფების ფორმირღების მეორე პერიოდში ზედა ბიეფში გრძელღება ფსკერული ნატანის განლაგება კალაპოტის გასწვრივ ფრაქციული შემადღვენღობის საშუალო დიამეტრის კლებადობით მოძრაობის მიმართულებით. კალაპოტის ფსკერის დონე განუწყვეტლივ მაღლღება და ფორმირღება ვრცელღება დინების ზედა უბნებისაკენ. იზრღება კალაპოტის ქანობი, ნაკადის ტრანსპორტირღების უნარი და ქვედა ბიეფში გადინღებული მყარი ნატანის ხარჯი. ამ პერიოდის ბოლოსთვის ზედა ბიეფში განლაგღება ფსკერული ნატანის შემადღვენღობის ყველაზე დიდი ფრაქციული ნაწილი. ამ პერიოდის ბოლოს თითქმის მთლიანად აღღება ბიეფებს შორის ფსკერული და შეწოილი ნატანის ბალანსი.

მეორე პერიოდი ითვღება ბიეფების ფორმირღების დამამთავრღებელ პერიოდად. ამ პერიოდში ზედა ბიეფში ისევ სწარმოებს ფსკერის აწევა, მაგრამ მიღევადი ინტენსივობით. ამ პერიოდის ბოლოს ზედა ბიეფში ჩმოყლიბღება ახალი კალაპოტი უფრო დიდ ნიშნულებზე და ქანობით, რომელიც უზრუნველყოფს ფსკერული და შეწონილი ნატანის 100%-ით გადინებას ქვედა ბიეფში. კალაპოტის ასეთ ფორმირღებულ ქანობს ვუწოდღებთ ნაკადის მღგრად ტრანზიტულ ქანობს ($i_{md.trans.}$) ან დამყარღებულ ქანობს i_{dam}

შეტბორვის წირის მაქსიმალური სიგრძის დაღვენა მდინარეთა მთიანი და მთისწინა უბნებისათვის.

წინასწარ იღება მდინარის გრძივი პროფილი კაშხლის გათვალისწინღებული მშენებღობის რაიონში (ნახ.3.1) შემღევ მდინარის კალაპოტი იყოფა რამოდენიმე დამახასიათებელ უბნებად და ყველა მათთვის იანგარიშღება სიგრძე და ქანები. დამახასიათებელი კვეთები ირჩევა ან

ქანობების მკვეთრი ცვლილებების გასწორში, ან კალაპოტი იყოფა თანაბარი სიგრძის 0,5÷1,0 კმ. მონაკვეთებად. იგება ამ მონაკვეთის გრძივი პროფილი და ყველა მათთვის ირკვევა გეგმილების სიგრძეები $L_1, L_2, L_2, \dots, L_n$ და $i_1, i_2, i_2, \dots, i_n$ ქანობები. იმისათვის რომ დავადგინოთ ნატანის დანალექი პრიზმის სიგრძე, საჭიროა ვიცოდეთ საბოლოო დამყარებული ქანობის სიდიდე i_{dam} მაგალითად თუ

$$i_{\text{dam}} = (L_1 + L_2 + L_2 + \dots + L_{n-1}) > i_1 h_1 + i_2 h_2 + i_3 h_3 + \dots + i_{n-1} h_n \quad (1)$$

და

$$i_{\text{dam}} = (L_1 + L_2 + L_2 + \dots + L_n) < i_1 h_1 + i_2 h_2 + i_3 h_3 + \dots + i_n h_n \quad (2)$$

მაშინ ძველი და ახალი კალაპოტების შერწყმა მოხდება n უბანზე. ძველი-ბუნებრივი კალაპოტის და ახალი-ფორმირებული კალაპოტის გადაკვეთის კოორდინატი (L და h) იანგარიშება ორი განტოლების ამოხსნით:

პირველი ესაა ფსკერის წირის განტოლება ბუნებრივ პირობებში (ფორმირებამდე) $L_n - L_{n-1}$ უბანზე.

$$\frac{h - h_{n-1}}{h_n - h_{n-1}} = \frac{L - \sum_1^{n-1} L}{\sum_1^n L - \sum_1^{n-1} L}$$

სადაც

$$h = h_{n-1} + i_n (L - \sum_1^{n-1} L) \quad (3)$$

მეორე განტოლება ფორმირებული ფსკერის განტოლება

$$h = i_{\text{dam}} L + \Delta H \quad (4)$$

სადაც $\Delta H = H - h_{\text{bun}}$. დაწნევა კაშხალთან.

მათი ამოხსნა გვაძლევს

$$L = \frac{\Delta H + i_n \sum_1^{n-1} L - (i_1 L_1 + i_2 L_2 + \dots + i_{n-1} L_{n-1})}{i_n - i_{\text{dam}}} \quad (5)$$

თუ $i_1 = i_2 = \dots = i_{n-1} = i_n = i_{\text{saS}}$. (სადაც i_{saS} -საშუალო ბუნებრივი ქანობია წყალმიმღების უბანზე) მივიღებთ

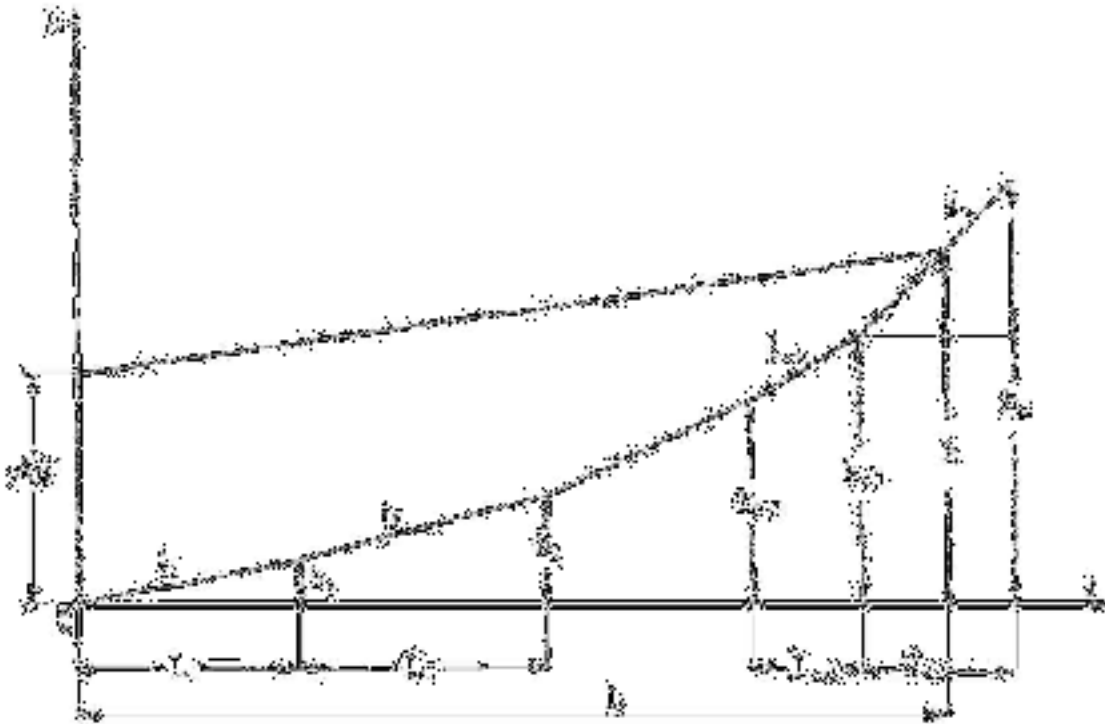
$$L = \frac{\Delta H}{i_{\text{saS}} - i_{\text{dam}}} \quad (6)$$

ყოველი პერიოდის ბოლოს მყარდება გარკვეული ქანობი i_{dam} , რომელიც შეესაბამება მდინარის თხევადი და მყარი ნატანის ხარჯს და ნატანის დიამეტრს, ზედა ბიეფში L_{fsk} . ფსკერული დანალექის მაქსიმალური სიგრძე, იანგარიშება ქანობით $i_{\text{dam.tranz}}$, რომელსაც

შესაბამება ნაკადის მდგრადი დამყარებული გადინება ფსკერული ნატანის მთლიანი ტრანზიტით ფორმირების დამთავრების შემდეგ. საბოლოოს შეგვიძლია დავწეროთ:

$$L_{fsk.} = \frac{\Delta H}{i_{saS.} - i_{dam.tranz.}} \quad (7)$$

როდესაც $i_{dam.tranz.} = i_{saS.}$, ფორმირება გრძელდება ზედა ბიეფში უსასრულოდ (უფრო სწორად მდინარის ქანობის მკვეთრი გაზრდის ადგილამდე). იმისათვის, რომ დავადგინოთ ქანობი, რომელიც უზრუნველყოფს მდინარეში ჩადინებული მყარი ნატანის მთლიან ტრანზიტს საჭიროა გვექონდეს მონაცემები ნაკადების მიერ მყარი ნატანის ტრანსპორტირების უბანზე.



ნახ. 7

ფსკერული ნატანის ხარჯის საანგარიშო ფორმულები. კრიტიკული ხვედრითი ხარჯის გაანგარიშება.

ფსკერული ნატანის ხარჯის დასადგენად არსებობს დიდი რაოდენობის ემპირიული ფორმულები, რომლებიც ეყრდნობიან ზოგიერთ თეორიულ მოსაზრებებს სხვადასხვა ჰიდრო-მორფოლოგიური ფაქტორების გავლენაზე. ისინი ძირითადად ბაზირებული არიან ლაბორატორიული კვლევების მონაცემებზე.

როგორც ზემოთ ავლინებთ ნატანის მოძრაობის შესახებ ერთიანი თეორია არ არსებობს, ამან გამოიწვია სხვადასხვა ავტორების მიერ შემოთავაზებული ფორმულების სხვადასხვა სტრუქტურა, რომლებიც მათში შემავალი ელემენტების გათავლისწინებით შეიძლება დაიყოს სამ ჯგუფად.

პირველ ჯგუფში შედიან ფორმულები, რომლებშიც ნატანის მყარი ხარჯი გამოისახებიან ნაკადის სიჩქარით (u_{saS})

პოლიაკოვისა და მიულხოფერის ფორმულა:

$$G = Au_{saS}^4 \quad (1)$$

ი.ი. ლევის ფორმულა:

$$G = 0.02 \left(\frac{4}{\sqrt{gd}} \right)^3 (u - u_0) \left(\frac{d}{4} \right)^{0.25} \quad (2)$$

ლოპატინის ფორმულა:

$$G = \frac{1.4 \cdot 10^3 i^{4/3} (u_{cp} - u_0)}{\sqrt[3]{d_{saS}}} \quad (3)$$

ლ.გ. გველესიანის ფორმულა:

$$G = 12.95 \frac{du_0}{\lg \frac{12D + d}{d}} \left(\frac{u^3}{u_0^3} - 1 \right) \left(\frac{u}{u_0} - 1 \right) \text{kg/wr} \quad (4)$$

ვ.ნ. გონჩაროვის ფორმულა:

$$G = AD \left(\frac{u}{u_n} \right) \left(\frac{D}{h} \right)^{1/10} (u - u_0) \quad (5)$$

სადაც u - კვეთში ნაკადის საშუალო სიჩქარეა;

u_H - ზღვრული (არაგადამტანი) სიჩქარე;

D - ნატანის დიდი ფრაქციის დიამეტრი;

d - შეწონილი ნატანის საშუალო დიამეტრი.

შემდეგში მან მოგვაწოდა ეს ფორმულა სხვა სახით:

$$G = 650(h\beta)\eta \frac{1+\varphi}{1350} u_H \left(\frac{u}{u_H} \right)^{4.33} \quad (6)$$

სადაც: β - ფარდობის კოეფიციენტი;

η - კალაპოტის ფორმის მახასიათებელი კოეფიციენტი;

φ - კალაპოტის მოკირწყლული ნატანის საშუალო დიამეტრის ($d_{kal.}$) და ფსკერული ნატანის საშუალო დიამეტრის ($d_{sas.}$) ჰიდრავლიკური სიმხოების ფარდობა.

გ.ი. შამოვის ფორმულა:

$$G = K \left(\frac{u}{u_H} \right)^3 (1 - u_H) \left(\frac{d}{h} \right)^{1/4} \quad (7)$$

სადაც K - ერთგვაროვანი გრუნტისათვის.

$$K = 0.95 \sqrt{d} \quad (8)$$

ხოლო არაერთგვაროვანი ნატანისათვის

$$K = (1.5 \div 1.8) \sqrt{D^2} \quad (9)$$

სადაც d - ნატანის საშუალო დიამეტრია მეტრებში;

D - გადატანილი ნატანის ყველაზე დიდი ფრაქციული შემადგენლობის დიამეტრია მეტრებში.

დონატის ფორმულა:

$$G = \frac{\Psi}{h} u^2 (u - u_0) \quad (10)$$

ცალკე აღნიშვნის ღირსია ალბერტ აინშტეინის ფორმულა, რომელიც გამოყავს დამხმარე კრიტერიუმების დახმარებით

$$\varphi = \frac{G}{D\omega} \quad (11)$$

$$\Psi = \frac{hi}{\alpha D} \quad (12)$$

ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$G = \frac{2.17\omega D}{(l^{0.39\alpha D/hi} - 1)(1 - k)} \quad (13)$$

სადაც D - ნატანის დიამეტრია;

ω - ჰიდრავლიკური სიმსხო;

h - სიღრმე;

i - კალაპოტის ქანობი.

k - ფორიანობის კოეფიციენტი ის დაახლოებით 0,35-ის ტოლია.

მორე ჯგუფს ეკუთვნიან ფორმულები, რომლებიც გამოსახავენ მყარი ნატანის ხარჯს მამოძრავებელი ძალის გამოყენებით. პირველად ასეთი დამოკიდებულება მოგვაწოდა დიუბუამ.

$$G = \Psi S(S - S_0) \quad (14)$$

ის თვლიდა, რომ ნატი გადაადგილდება ფენებით რომელთა სიჩქარე იკლებდა და რაღაც სიღრმეზე აღწევდა ზღვრული სიჩქარეს.

სადაც S და S_0 - მამოძრავებელი და ზღვრული მამოძრავებელი ძალებია.

ხორკლიანობის კოეფიციენტი:

$$\Psi = \frac{\gamma H \nu d}{2S_0^2} \quad (15)$$

რეიტერის მიხედვით:

$$\Psi = \frac{k}{S_0} \quad (16)$$

k -მუდმივი კოეფიციენტი.

შოკლიჩის მიხედვით:

$$\Psi = 0.540 \frac{\gamma_1}{\gamma_1 - \gamma} \frac{\text{მ}^3}{\text{kg} \cdot \text{sr}} \quad (17)$$

ფორხეიმერის მიხედვით:

$$\Psi = 0.540 \frac{1}{\gamma_1 - \gamma} \quad (18)$$

ჩანგის მიხედვით:

$$\Psi = 0.540 \frac{k_1 \sqrt{D}}{30} \quad (19)$$

ნაკაიამას მიხედვით:

$$\Psi = \frac{k}{\sqrt{D}} \quad (20)$$

Ψ -კოეფიციენტის ასეთი მრავალსახეობა ბევრ მკვლევარს აძლევს საფუძველს, კრიტიკულად შეაფასოს დიუბუას თეორია. ისინი თვლიან, რომ ურთიერთ მიმართ მოსრიალე ფენების არსებობა, ისევე როგორც ნაწილაკის წონის კომპონენტის მხედელობაში არ მიღება არ არის გამართლებული. ასევე დაუშვებელია სიჩქარის განაწილების ხაზოვანი კანონი ფენებს შორის.

ო'ბრაინ-ი და რინდლაუბ-ი (1934 წ) შეეცადნენ დაეძლიათ ეს წინააღმდეგობა დიუბუას თეორიაში იმით, რომ კალაპოტში მოძრავი ნაწილაკების ფენებს შორის არსებული ხახუნის ძალის ცვლილება სიღრმეში გამოსახეს ხარისხის მაჩვენებლით. ამან მოგვცა ნატანის ხარჯის ფორმულა შემდეგი სახით:

$$G = \Psi (S - S_0)^m \quad (21)$$

ასეთივე ტიპის გამოსახულება იქნება მიიღებული ა.შ.შ.-ის საწყალოსნო გზების ექსპერიმენტალური სადგურის მიერ (1935წ.), სადაც ფიგურირებდა მანინგის ხორკლიანობის კოეფიციენტი

$$G = \frac{1}{n} \left(\frac{T - T_{kr}}{k} \right)^m \quad (22)$$

ე.ი. გონჩაროვმა (1929წ.) შემოიტანა დიუბუას განტოლებაში კოეფიციენტი, რომელიც ტოლია ფსკერული სიჩქარის ფარდობას საშუალო სიჩქარესთან და მიიღო ფსკერის ერთეული ფართის მიმართ ნაკადის ხახუნის ძალის მნიშვნელობა

$$S = \gamma \varphi^2 Hi \quad (23)$$

ხოლო ძლისხმევა, რომელსაც ხარჯავს ნაკადი მოძრავი ნაწილაკების გადაადგილებაზე უძრავ კალაპოტის ფსკერზე იქნება:

$$S_0 = \gamma \varphi_0^2 (Hi)_0 \quad (24)$$

საიდანაც ნაკადის მუშაობა დროის ერთეულში ფსკერული ნატანის გადაადგილებაზე, ანუ სიმძლავრე იქნება:

$$N = Av = \gamma(S - S_0)v_0 = \gamma[\varphi^2 Hi - \varphi_0^2 (Hi)_0]v_0 \quad (25)$$

სადაც v_0 - ნაკადის ფსკერული სიჩქარეა.

თუ მოძრავი ნატანის ხახუნის ძალას უძრავ ფსკერზე ავლნიშნავთ გამოსახულით $(f \pm i)(\gamma_1 - \gamma)d = \gamma_0^2 (Hi)_0$ მივიღეთ ფსკერული ნატანის მოძრაობის სიჩქარეს:

$$v' = \frac{N}{(f \pm i)(\gamma_1 - \gamma)d} = \left[\frac{\gamma \varphi^2 Hi}{(f \pm i)(\gamma_1 - \gamma)d} - 1 \right] v_0 \quad (26)$$

საბოლოოდ მივიღებთ, რომ ფსკერული ნატანის ხარჯი იქნება:

$$G = v'd = \left[\frac{\gamma \varphi^2 Hi}{(f \pm i)(\gamma_1 - \gamma)d} - 1 \right] v_0 d \quad (27)$$

f - მოძრავი ნატანის ხახუნის კოეფიციენტია უძრავ ფსკერზე. გარეცხვის სიღრმე ანუ ფენების რაოდენობა იანგარიშება ფორმულით:

$$nd = \frac{\gamma \varphi^2 Hi}{(f \pm i)(\gamma_1 - \gamma)d} \quad (28)$$

დაშვება, რომ კრიტიკული ძალა S_0 დამოკიდებულია მყარი ნატანის მახასიათებლებზე მართლდება იმით, რომ ბევრი მკვლევარი აღნიშნავდნენ გარკვეულ ხარისხობრივ ფარდობას ნატანის დიამეტრისა და კრიტიკულ ძალას შორის. თუმცა უნდა აღინიშნოს ფსკერული ფენის

გავლენაც ანუ ფარდობა $\frac{d}{\sigma}$, მართლაც $\frac{d}{\sigma}$ ფარდობის გავლენა, ნატანის მოძრაობის დროს,

წარმოადგენს მეტად მნიშვნელოვან პარამეტრს ვიდრე ფარდობა $\frac{k}{\sigma}$ - ხორკლიანი მილსადენისათვის.

თუ განვიხილავთ "მამოძრავებელი ძალის კანონის" ფიზიკურ მნიშვნელობას ერის კანონთა დაყრდნობით, ვხედავთ, რომ

$$d = \alpha Hi \quad (29)$$

α - უგანზომილებო კოეფიციენტი, რომელიც აერთიანებს ყველა გაუთვალსწინებულ პარამეტრებს.

თუ Hi გამოსახულებას შევუნარჩუნებთ, "მამოძრავებელი ძალის" სახელწოდებას მივიღებთ, რომ მამოძრავებელი ძლა პროპორციულია ნაწილაკის საშუალო დიამეტრის. რაც არ ეწინააღმდეგება ერის კანონს (რადგან $Hi \leq v'$), მაგრამ ეს არ იძლევა საფუძველს განვიხილოთ კალაპოტის საერთო წარცხვა, რადგან ერის კანონი მართებულია მხოლოდ ცალკეული ნაწილაკებისათვის და არა გადაადგილებული ნაწილაკების ერთობლიობისათვის.

შემდეგ: დიუბუას მიხედვით ნატანი გადაადგილდება ფენებით, ხოლო კრეიტერის ლაბორატორიული კვლევებმა გვივენეს, რომ ასეთი მასობრივი ფენებით გადაადგილებას არასდროს არ ააქვს ადგილი, არამედ ხდება ზედა, თავისუფლად მდებარე, ნაწილაკების გადაგორება ქვედა უძრავ ნაწილაკებზე.

მართალია ჩქერებზე მცირე ზომის ქვიშის მოძრაობისას ეს უკანასკნელი გადაადგილდება ნახევრად თხევადი მასის სახით, ანუ ნახევრად შეწონილ მდგომარეობაში ანუ გადაადგილდება ფსკერული ფენის ზევით უშუალოდ მის სიახლოვეს, მაგრამ აქ ჩვენ საქმე გვაქვს სხვა რიგის მოძრაობასთან, ანუ შუალედურს შეწონილ და ფსკერზე გადაადგილებულს შორის და მისთვის ერის კანონის მიყენება გაუმართლებელია. გარდა ამისა ზედმეტია იმის მტკიცება, რომ სასაზღვრო ფენის სისქე და ნატანის საშუალო დიამეტრი არ არის საკმარისი S_0 -ის გასარკვევად, რადგან მოცულობითი წონა, ფორმა და ნატანის სორტირება ასევე თამაშობენ დიდ როლს. უფრო მეტიც, ნაწილაკის მოძრაობა რომელიც იწყება ბრტყელ ფსკერზე არ შეიძლება შევუფარდოდ ნატანის გაჩერებას ვინაიდან გაჩერების მომენტში წარმოიქმნება ხნულები, რაც იწვევს სითხის ზედაპირზე ლივლივის ფორმის გაჩენას. სინამდვილეში უცნობია სასაზღვრო ძვრა ტოლია თუ არა ნამდვილ მამოძრავებელი ძალის, თუმცა შეიძლება ველოდოდ, რომ G -ს და τ -ს შორის შეიძლება არსებობდეს რაღაც ფორმის ფუნქციონალური კავშირი. მეორეს მხრივ, ეს ნიშნავს, რომ შესაბამისი ფუნქციები არსებობენ მოძრაობის სხვა მახასიათებლებთან დამოკიდებულებებში, რადგან

$$S = \gamma hi = \frac{\gamma v^2}{C^2} = \frac{\gamma q^2}{h^2 C^2} \quad (30)$$

მეირ პეტერის ფორმულა

$$G = \alpha i^{3/2} \left(q^{2/3} - \frac{bd}{i} \right) \quad (31)$$

α და b მუდმივი კოეფიციენტებია

მ.ა. მოსტკოვის ფორმულა

$$G = \varphi i^{3/2} (q - q_0) \quad (32)$$

კრიტიკული ხვედრითი ხარჯის გაანგარიშება როგორც აღნიშნული გვექონდა წინა ანგარიშებში, მყარი ნატანის ხარჯის გასარკვევად ავირჩიეთ დამოკიდებულება

$$G = a \cdot i^{3/2} (q - q_0)$$

ამ განტოლებაში $q_0 = q_{kr}$ წარმოადგენს სითხის კრიტიკულ (წაურეცხავ) ხვედრით ხარჯს, რომლის ოდნავი მომატებაც კი გამოიწვევს ფსკერიდან ნაწილაკების მოწყვეტას და გადაადგილებას დინების მიმარულებით; a კოეფიციენტია, რომელიც ითვალისწინებს ნაკადის ზოგიერთ მორფოლოგიურ და ჰიდრაულიკურ პარამეტრებს.

ცხადია ამ განტოლებაში მთავარია კრიტიკული ხვედრითი q_0 ხარჯის ანგარიში. როგორც წინა სხვადასხვა ავტორებს მოყავთ ემპირიული ფორმულები, სადაც ძირითად ფაქტორებად გულისხმობდნენ ნატანის დიამეტრს და ნაკადის ჰიდრაულიკურ ქანობს, ასეთსავე დამოკიდებულებებს გვთავაზობენ ზემოთ მოყვანილი სხვა ავტორებიც. მაგრამ ისინი იძლევიან სხვადასხვა მნიშვნელობებს რაც განპირობებულია იმით, რომ არ ითვალისწინებენ მთელ რიგ ჰიდრომორფოლოგიურ პარამეტრებს.

რადგანაც $q_0 = V_0 h$ სადაც V_0 წარმოადგენს კრიტიკულ წაურეცხავ სიჩქარეს, რომლის ოდნავი მომატებით ცალკეული ნაწილაკები იწყებენ ფსკერიდან მოწყვეტას და გადაადგილებას.

განვიხილოთ კრიტიკული სიჩქარის და ხვედრითი ხარჯის სიდიდის განსაზღვრა.

მექანიკიდან ცნობილია, რომ ნაწილაკის მდგრადობა იმყოფება ზღვრულ წონასწორობაში თუ სრულდება პირობა

$$P_{\text{მ.ა.}} = f(P_{\text{გ.წ.}} + P_0 S) \quad (33)$$

სადაც $P_{\text{მ.ა.}}$ – ნაწილაკზე მოქმედი მამოძრავებელი ძალაა;

$P_{\text{გ.წ.}}$ – ნორმალური წნევის ძალა, რომელიც აკავებენ ნაწილაკს ქანობიან ზედაპირზე;

P_0 – ნაწილაკების მოლეკულური შეჭიდულების ძალა ერთეულ ფართზე, რომლებიც წარმოიქმნება ნაწილაკების მცირე ზომების შემთხვევაში ($d < 0,2 - 0,25$ მმ);

S – ნაწილაკების შეხების ფართი;

$f = i_0$ – ხახუნის კოეფიციენტი, რომელიც ტოლია ნაწილაკთა ბუნებრივი ქანობის კუთხის ტანგენსი

$$f = i_0 = \operatorname{tg} \alpha_0. \quad (34)$$

თუ განვიხილავთ ნაწილაკის მდგრადობის პირობას ნაკადის ფსკერზე (ნახ. 1), მაშინ მასზე იმოქმედებს შემდეგი ძალები:

1. ნაწილაკის საკუთარი წონა წყალში G

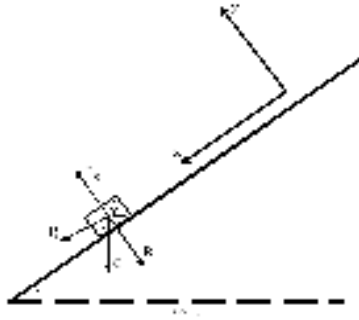
$$G = \frac{\bar{n}}{6}(\gamma_n - \gamma_0)d^3 = 0,523(\gamma_w - \gamma_0)d^3 \quad (35)$$

სადაც γ_6 – ნაწილაკის ხვედრითი წონა;

γ_0 – სითხის ხვედრითი წონა;

d – ნაწილაკის დაყვანილი დიამეტრი.

2. P_0 – ნაწილაკებს შორის მოლეკულური მიზიდულობის ძალა (შეჭიდულობა), რომელიც მჟღავნდება მცირე სიდიდის ნაწილაკებს შორის ($d < 0,2$ მმ)



$$P_0 = \beta G, \quad (36)$$

β – მაკორექტირებელი კოეფიციენტი, რომელიც

დიდი დიამეტრის ნაწილაკებისათვის ($d > 0,25$ მმ) უტოლდება 0-ს.

3. ნაწილაკზე ნაკადის შუბლური მოქმედების ძალა

$$P_{\text{ა}} = \gamma_0 \lambda_x \alpha_x d^2 a' \frac{V_{\Delta \max}^2}{2g}, \quad (37)$$

სადაც λ_x – შუბლური ზემოქმედების კოეფიციენტი (x ღერძის გასწვრივ), რომელიც

დამოკიდებულია ნაწილაკის გარსდენის პირობებზე;

$\alpha_x d^2$ – მიდელის ფართი (x ღერძის მართობული სიბრტყე);

$V_{\Delta \max}$ – მაქსიმალური პულსაციური ფსკერული სიჩქარე ხორკლების შვერილების სიმაღლეზე;

a' – კორექტირების კოეფიციენტი, ასაშუალოებს სიჩქარეთა კვადრატს, რომლებიც მოქმედებს ნაწილაკის სიმაღლეზე.

4. ნაწილაკზე მოქმედი ამწევი ძალა

$$P_{\text{ამწევი}} = \gamma_0 \lambda_y \alpha_y d^2 \frac{V_{\Delta \max}^2}{2g}, \quad (38)$$

სადაც λ_y – ამწევი ზემოქმედების კოეფიციენტი;

$\alpha_y d^2$ – მიდელის ფართი (y ღერძის მართობული სიბრტყე).

ზემოთ მოყვანილი ძალებიდან ნაწილაკის მოძრაობაში მონაწილეობას ღებულობენ ძალები:

$$P_{\text{მ.ბ}} = P_{\text{ა}} + Gi, \quad (39)$$

სადაც $i = \sin \alpha \approx tg \alpha$.

ხოლო ნაწილაკს ადგილზე აკავებს ძალები

$$P_{6.წ.} + P_0 S = G \sqrt{1-i^2} - P_{\text{საფ}} + P_0 = (\sqrt{1-i^2} + \beta) G - P_{\text{საფ}}.$$

რადგანაც $\sqrt{1-i^2} \approx 1$, თუ აღვნიშნავთ $(1 + \beta S) = b$, მივიღებთ

$$P_{6.წ.} + P_0 S = bG - P_{\text{საფ}}. \quad (40)$$

(7) და (8)–ის გათვალისწინებით (1) გამოსახულება მიიღებს სახეს:

$$P_{\text{ა.}} + Gi = i_0 (bG - P_{\text{საფ}}), \quad (41)$$

$$P_{\text{ა.}} + i_0 P_{\text{საფ}} = (i_0 b - i) G. \quad (42)$$

(3), (4), (5) და (6)–ის ჩასმით (10)–ში მივიღებთ

$$V_{\Delta \max} = \sqrt{\frac{2gd\bar{\gamma}(i_0 b - i)}{1,91(\alpha_x \lambda_x a' + i_0 \alpha_y \lambda_y)}}, \quad (43)$$

$$\text{სადაც } \bar{\gamma} = \frac{\gamma_6 - \gamma_0}{\gamma_0}.$$

ჩავთვალოთ, რომ

$$V_{\Delta \max} = nV_{\Delta},$$

სადაც V_{Δ} – ხორკლიანობის შვერილის წვერზე გასაშუალებული სიჩქარე.

საბოლოოდ ვღებულობთ

$$V_{\Delta \text{არაგამრ.}} = \sqrt{\frac{2gd\bar{\gamma}(i_0 b - i)}{1,91n^2(\alpha_x \lambda_x a' + i_0 \alpha_y \lambda_y)}}. \quad (44)$$

(12') გამოსახულება იძლევა საშუალებას ვიანგარიშოთ ფსკერული სიჩქარის (ხორკლების ზედაპირზე) ის სიდიდე, რომლის ოდნავი გადაჭარბებამ, შეიძლება გამოიწვიოს ნაწილაკის მდგრადობის დაკარგვა (მას უწოდებენ არაგამრეცხ ფსკერულ სიჩქარეს).

იმისათვის, რომ აღნიშნული სიჩქარე გამოვსახოთ ნაკადის საშუალო სიჩქარით ვერტიკალზე, საჭიროა შევადგინოთ დამოკიდებულება, რომელიც მოგვცემს საშუალებას გადავიყვანოთ ფსკერული სიჩქარე V_{Δ} ვერტიკალზე საშუალო სიჩქარეზე V .

ამისათვის ჩავწეროთ ნაწილაკზე შუბლური ზემოქმედების ძალა მხები ძაბვის τ –ს მეშვეობით (როგორც ამას აკეთებდნენ ა.პ. ზეგაჟდა და ვ.ს. კნოროზი და სხვები)

$$P_{\text{ა.}} = \frac{\tau \cdot 1 \cdot \eta}{N}, \quad (45)$$

სადაც N – ერთეულ ფართზე განლაგებული ნაწილაკების რაოდენობა;

„1“ – ერთეული ფართი;

τ – მხები ძაბვა;

η – მაკორექტირებელი კოეფიციენტი.

რადგანაც

$$N = \frac{1 \cdot K}{\alpha_y d^2}, \quad (46)$$

სადაც $K = \frac{d}{l+d}$ – წარმოადგენს ნაწილაკების განლაგების სიმჭიდროვის კოეფიციენტს (l – ნაწილაკების შორის გასაშუალებული მანძილი).

შედეგად შუბლური ზემოქმედებისათვის გვექნება

$$P_{\text{შ}} = \frac{\tau \alpha_y d^2 \eta}{K}. \quad (47)$$

რადგანაც $\tau = \gamma Ri = \rho v_*^2$ (სადაც V_* – წარმოადგენს დინამიკურ სიჩქარეს), მივიღებთ

$$P_{\text{შ}} = \rho \frac{\eta}{K} \alpha_y d^2 dV_*. \quad (48)$$

(5) და (16) გამოსახულების ერთობლივი ამოხსნით მივიღებთ

$$V_{\Delta} = \sqrt{\frac{2\eta\alpha_y}{a' \cdot K \cdot \alpha_x \lambda_x}} \cdot V_*. \quad (49)$$

რადგან

$$V_* = V \frac{\sqrt{g}}{C}, \quad (50)$$

სადაც C – შეზის კოეფიციენტი, (17) გამოსახულება მიიღებს სახეს:

$$V_{\Delta} = \frac{1}{C} \sqrt{\frac{2g\eta\alpha_y}{a' \cdot K \cdot \alpha_x \lambda_x}} \cdot V. \quad (51)$$

(19)–ის ჩასმით (12') გამოსახულებაში მივიღებთ

$$V_{\text{წაურ}} = C \sqrt{\frac{d\bar{\gamma}(i_0 b - i) \cdot K}{1,91n^2 \cdot \eta \cdot \alpha_y \left(1 + i_0 \frac{\alpha_y \lambda_y}{\alpha_x \lambda_x \cdot a'}\right)}} = C\sqrt{dA}, \quad (52)$$

სადაც

$$A = \frac{\bar{\gamma}(i_0 b - i) \cdot K}{1,91n^2 \cdot \eta \cdot \alpha_y \left(1 + i_0 \frac{\alpha_y \lambda_y}{\alpha_x \lambda_x \cdot a'}\right)}. \quad (53)$$

გამოსახულება (20) იძლევა საშუალებას ვიანგარიშოთ ნაკადის წაურეცხავი სიჩქარის სიდიდე, რომელზეც წამატების შემთხვევაში ფსკერის ნაწილაკები იწყებენ მოწყვეტას და გადაადგილებას მდინარის დინების მიმართულებით.

იმისათვის, რომ გავიანგარიშოთ ზღვრული ხვედრითი ხარჯი, რომლის დროს ნაწილაკები წყვეტენ მოძრაობას, ანუ, რომელიც შეესაბამება წაურეცხავ სიჩქარეს, საჭიროა განტოლება (20) გამრავლდეს ნაკადის სიღრმე h – ზე. მივიღებთ

$$q_0 = q_{\text{წაურ}} = Ch \sqrt{\frac{d\bar{\gamma}(i_0 b - i) \cdot K}{1,91n^2 \cdot \eta \cdot \alpha_y \left(1 + i_0 \frac{\alpha_y \lambda_y}{\alpha_x \lambda_x \cdot a'}\right)}} = Ch\sqrt{dA}. \quad (54)$$

(22) გამოსახულებით კრიტიკული ხვედრითი ხარჯის საანგარიშოდ საჭიროა მასში შემავალი პარამეტრების სიდიდეების გარკვევა, ანუ მისი დაყვანა საანგარიშო დონემდე. თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ ნაკადებისათვის, როცა $\frac{B}{H} \geq 6$, შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ ჰიდრაულიკური R ტოლია ნაკადის საშუალო სიღრმის h -ის, მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ, რომ

$$q = ch^{3/2}i^{1/2}. \quad (55)$$

თუ (23)-დან გავიგებთ h -ს და ჩავსვათ (22)-ში, მივიღებთ:

$$q_0 = q_{\text{ფ}} = \frac{c}{i} \sqrt[3]{\left[\frac{d\bar{\gamma}(i_0b - i) \cdot K}{1,91n^2 \cdot \eta \cdot \alpha_y \left(1 + i_0 \frac{\alpha_y \lambda_y}{\alpha_x \lambda_x \cdot a'} \right)} \right]^3} = \frac{c}{i} \sqrt{d^3 A^3}. \quad (56)$$

ვინაიდან $i_0b \gg i$, შეიძლება დავწეროთ

$$i_0b - i = i_0b. \quad (57)$$

საკმაო სიზუსტით შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ

$$b = 1; K = 0,9; n = 2,0 \text{ და } i_0 = 0,576 \text{ (ხრემისთვის).}$$

მაშინ (24) მიიღებს სახეს

$$q_0 = \frac{c}{i} \sqrt[3]{\left[\frac{d\bar{\gamma}}{14,8 \cdot \eta \cdot \alpha_y \left(1 + i_0,576 \frac{\alpha_y \lambda_y}{\alpha_x \lambda_x \cdot a'} \right)} \right]^3}. \quad (58)$$

დემენტევის, გონჩაროვის და მირცხულავას მონაცემებით

$$\alpha_x = 0,5; \alpha_y = 0,785; \lambda_x = 0,4; \lambda_y = 0,1; \bar{\gamma} = 1,65.$$

იმისათვის, რომ გავარკვიოთ კოეფიციენტ a' -ს მნიშვნელობა დავუშვათ, ხორკლიანობის სიმაღლის Δ -ის ზონაში სიჩქარის განაწილება ემორჩილება ხაზოვან კანონს. ანუ სიჩქარე იცვლება Δ -ს სიმაღლეზე 0-დან V_Δ -მდე, ე.ი.

$$V = V_\Delta \frac{y}{\Delta}. \quad (59)$$

ავიყვანოთ ეს გამოსახულება კვადრატში და გვანტეგრალით 0-დან Δ -მდე საზღვრებში, მივიღებთ

$$(V^2)_{\text{საშ}} = \frac{1}{\Delta} \int_0^\Delta V^2 dy = \frac{1}{\Delta} \int_0^\Delta \frac{V_\Delta^2}{\Delta^2} y^2 dy = \frac{V_\Delta^2}{\Delta^3} \left| \frac{y^3}{3} \right|_0^\Delta = 0,33V_\Delta^2, \quad (60)$$

ანუ მივიღებთ, რომ

$$a' = \frac{(V^2)_{\text{საშ}}}{V_0^2} = 0,33. \quad (61)$$

ნიკიტინის მიხედვით $V_{\Delta} = 5,6V_*$, მაშინ (17) გამოსახულებიდან გვექნება, რომ მაკორექტირებელი კოეფიციენტის მნიშვნელობა ტოლია $\eta = 1,1$.

საბოლოოდ მივიღებთ კრიტიკული (წაურეცხავი) ხვედრით ხარჯის გამოსახულებას

$$q_0 = q_{კრ} = \frac{c}{77i} \sqrt{d^3}, \quad (62)$$

რომ დავრწმუნდეთ (29) დამოკიდებულების სისწორეში, ჩატარებული იქნა სპეციალური ექსპერიმენტები. მათი მონაცემები მოცემულია ცხრილ 1-ში. ამ ცხრილში $d_{მოკ}$ – ფსკერის მოკირწყვლის საშუალო დიამეტრია.

როგორც ცხრილიდან ჩანს ანგარიშით მიღებული სიდიდეები იძლევა კარგ დამთვევას ცდის მონაცემებთან.

თუ გამოვიყენებთ (29) გამოსახულებას, სპეციალური ექსპერიმენტების საშუალებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ a კოეფიციენტის მნიშვნელობა (9) განტოლებაში.

ამ ცდების მონაცემები მოცემულია ცხრ. 2-ში.

მაშინ მყარი ნატანის ტრანსპორტირებისათვის მივიღებთ განტოლებას

$$G = 1,98 \gamma_{ნაგ} i^{3/2} (q - q_0), \quad (63)$$

სადაც $\gamma_{ნაგ}$ – მყარი ნატანის ხვედრითი ხარჯი;

q_0 – იანგარიშება (29) გამოსახულებით.

ცხრილი 1 გვიჩვენებს, რომ (24) და (25) განტოლებები სამართლიანია არაერთგვაროვანი მყარი ნატანის შემთხვევაში, თუ საშუალო დიამეტრის მაგივრად ჩავსვამთ მოკირწყვლული ფსკერის საშუალო დიამეტრს $d_{მოკ}$. ამ დროს საჭიროა გავითვალისწინოთ, რომ მოკირწყვლის საშუალო დიამეტრი არ არის მუდმივი სიდიდე ერთი და იგივე ფრიქციული შემადგენლობისთვისაც კი და ის იცვლება ფარგლებში $\frac{d_{მოკ, ს.შ.}}{d_{ს.შ.}} = 3 \div 4,3$.

ცხრილი 15

№№	q სმ ² /წმ	H სმ	V სმ/წმ	i	C სმ ^{0,5} /წმ	d _{ს.შ.} მმ	d _{მოკ} მმ	$f = \frac{hi}{d_{მოკ}}$	q _{kr} = q ₀
1	2		3	4	5	6	8	9	10
1	71,4	1,75	40,8	0,0142	259	1,64	5,20	0,0477	87,8
2	88,6	2,04	43,3	0,0126	271	1,64	5,21	0,0485	91,8
3	107,1	2,50	42,8	0,0112	256	1,64	5,30	0,0528	102,3
4	130,0	3,00	43,3	0,0100	251	1,64	5,40	0,0595	129,0
5	146,0	3,30	44,2	0,0092	252	1,64	5,42	0,0560	181,0
6	175,0	3,90	44,8	0,0080	254	1,64	5,61	0,0555	170,0
7	199,4	4,30	46,2	0,0072	264	1,64	5,82	0,0532	211,0
8	207,0	4,45	46,6	0,0072	261	1,64	5,81	0,0552	208,0
9	232,0	4,90	47,3	0,0068	259	1,64	6,10	0,0546	236,0
10	255,0	5,30	48,1	0,0064	261	1,64	6,25	0,0543	261,0

11	283,0	5,70	50,3	0,0062	265	1,64	6,60	0,0544	293,0
12	324,0	6,20	50,6	0,0060	263	1,64	6,90	0,0539	327,0
13	178,5	3,60	48,8	0,0121	239	2,76	7,80	0,0558	176,0
14	88,6	2,10	42,1	0,0100	291	1,30	3,60	0,0583	81,5

ექსპერიმენტები, როგორც ვხედავთ ცხრილ 1–ში ჩატარებული იქნა სამი სხვადასხვა ფრაქციული შემადგენლობას ნატანისათვის საშუალო დიამეტრებით $d_{საშ} = 1,33$ მმ; 1,64 მმ და 2,76 მმ.

ამ ექსპერიმენტით დადგინდა, რომ

$$d_{მოკ.საშ} = 18,4hi. \quad (64)$$

მოკირწყლული ფსკერის საშუალო დიამეტრი მოთავსებულია d_{85} და d_{95} –ის დიაპაზონში.

თუ გვეცოდინება მყარი ნატანის ხვედრითი ხარჯი G (განტოლება 30) შეგვიძლია გამოვთვალოთ მდინარის ის ქანობი, რომელიც დამყარდება ზედა ბიეფის ფორმირების დამთავრების შემდეგ. ამისათვის საჭიროა ვიცოდეთ შეზის კოეფიციენტის – C –ს მნიშვნელობა, რომელიც დამყარდება სითხის კრიტიკული ხარჯის (ზამ+++–ის) შემთხვევაში, იგივე დამყარებული ზედა ბიეფის ქანობის $i_{ლაბ.ტრ}$ –ის დროს. შეზის კოეფიციენტის ამ სიდიდეს აღვნიშნავთ $C_{კრ}$ –ით. (30)–დან (29) გათვალისწინებით ვღებულობთ:

$$G = 1,98\gamma_{ნატ} \cdot i_{ლაბ.ტრ}^{3/2} \cdot \left(1 - \frac{C_{კრ}}{77i_{ლაბ.ტრ}} \cdot \sqrt{d^3} \right). \quad (65)$$

თვლიან, რომ შეზის კოეფიციენტის კრიტიკული მნიშვნელობა $C_{კრ}$ წარმოადგენს მუდმივ სიდიდეს. ამ ავტორების მონაცემებით (გონჩაროვი, მარტკოვი, მირცხულავა და სხვები) მისი სიდიდე იცვლება ფარგლებში 24–დან – 27 მ^{0.5}/წმ–მდე. როგორც ცხრილი 15 გვიჩვენებს $C_{კრ.საშ} = 25,8$ მ^{0.5}/წმ; მაქსიმალური გადახრა არ აღემატება 5–7,5%–ით. რაც

ცხრილი16

ცდის №№	Q ლ/წმ	Q სმ ² /წმ	i	d მმ	G _{გე} გრ/წმ	G _{გე} გრ/წმ	Q სმ ² /წმ	G გრ/წმ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	35,7	0,0080	1,1	2	0,0714	15,40	0,763
2			0,0105		4	0,1428	11,70	0,1350
3			0,0135		6	0,2142	9,13	0,2290
4			0,0145		8	0,2856	8,50	0,2500
5			0,0155		10	0,3570	7,95	0,3020
6	3	107	0,0070	1,1	6	0,2142	17,60	0,2750
7			0,0100		12	0,4280	12,30	0,4980
8			0,0130		18	0,6420	9,46	0,7580
9			0,0140		24	0,8580	8,78	0,8500
10			0,0150		30	1,0710	8,20	0,9540

11			0,0060		10	0,3570	20,50	0,3850
12	5	178,5	0,0090	1,1	20	0,7140	13,70	0,7380
13			0,0120		30	0,0710	10,50	1,1580
14			0,0130		40	1,4280	9,36	1,3180
15			0,0055		14	0,5000	24,60	0,4850
16			0,0085		28	1,0000	14,00	0,9680
17	7	249,9	0,0115	1,1	42	1,5000	10,70	1,5340
18			0,0130		56	2,0000	9,48	1,8800
19			0,0145		70	2,5000	8,56	2,2200
20			0,0012		2	0,0714	25,20	0,0745
21			0,0145		4	0,1428	20,80	0,1370
22	1	35,7	0,0170	2,0	6	0,2142	17,75	0,2100
23			0,0192		8	0,2856	15,70	0,2790
24			0,0215		10	0,3570	14,05	0,3570
25			0,0075		6	0,2142	40,20	0,2285
26			0,0100		12	0,4280	30,20	0,4035
27	3	107	0,0125	2,0	18	0,6420	24,20	0,6040
28			0,0150		24	0,8590	20,10	0,8360
29			0,0170		30	1,0710	17,80	1,0490
30			0,0065		10	0,3570	47,50	0,3610
31			0,0095		20	0,7140	31,80	0,7130
32	5	178,5	0,0120	2,0	30	1,0710	25,20	1,0540
33			0,0140		40	1,4280	21,50	1,3680
34			0,0165		50	1,7850	18,30	1,7850
35			0,0060		14	0,5000	50,30	0,4880
36			0,0090		23	1,0000	33,60	0,9740
37	7	249,9	0,0115	2,0	42	1,5000	26,30	1,4330
38			0,0140		56	2,0000	21,60	1,9800
39			0,0165		70	2,5000	18,30	2,5800
40			0,0185		2	0,0714	30,00	0,0752
41	1	35,7	0,0205	3,0	4	0,1428	27,1	0,1330
42			0,0230		6	0,2142	24,1	0,2120
43			0,0095		6	0,2140	58,5	0,2350
44			0,0120		12	0,4280	46,3	0,4170
45			0,0145		18	0,6420	38,3	0,6270
46	3	107	0,0165	3,0	24	0,8580	33,7	0,8160
47			0,0190		30	0,0710	29,3	1,0650
48			0,0075		10	0,3570	74,1	0,3560
49	5	178,5	0,0105	3	20	0,7140	52,9	0,7850
50			0,0125		30	1,0710	44,4	0,9900
51			0,0150		40	1,4280	37,0	1,3670
52			0,0070		14	0,50	79,4	0,5230
53			0,0100		28	1,00	55,6	1,0200
54	7	249,9	0,0125	3,0	42	1,50	44,4	1,5000
55			0,0150		56	2,00	37,0	2,0600
56			0,0170		70	2,50	32,7	2,5200

სრულად დამაკმაყოფილებელია, ე.ი. განზომილების გათვალისწინებით მივიღებთ, რომ $C_{კრ} = 8,17\sqrt{g}$, მაშინ (32)–ი მიიღებს სახეს:

$$G = 1,98\gamma_{ნაგ} \sqrt{i_{დამ.ტრ.}^3} \left(q - \frac{0,106\sqrt{gd^3}}{i_{დამ.ტრ.}} \right), \quad (66)$$

ან

$$G = 1,98\gamma_{ნაგ} \sqrt{i_{დამ.ტრ.}} \left(qi_{დამ.ტრ.} - 0,106\sqrt{gd^3} \right). \quad (67)$$

აქ q არის ნაკადის ხვედრითი კალაპოტის მაფორმირებელი ხარჯი;

$$d = d_{30}.$$

უნდა აღინიშნოს, რომ კოეფიციენტი a მე(9) განტოლებაში ჩვენი ცდების მონაცემებით მივიღებთ $a = 1,98\gamma_{ნაგ}$, მაგრამ თუ კვლევებს ჩავატარებთ უფრო ფართო დიაპაზონით, ის შეიძლება იცვლებოდეს. ამაზე მიუთითებს აგრეთვე ნატურული კვლევების მონაცემები.

განზომილებათა თეორიის გამოყენებით და ჩვენს მიერ მოყვანილი ცდების შედეგების გათვალისწინებით ვღებულობთ, რომ $a = 0,25\gamma_{ნაგ} \sqrt{\frac{h}{d}}$. ამის გათვალისწინებით საბოლოოდ მყარი ნატანის ტრანსპორტირების უნარის საანგარიშო დამოკიდებულება (ნაკადის სიგანის ერთეულ გრძივ მეტრზე). მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$G = 0,25\gamma_{ნაგ} \sqrt{\frac{h}{d}} i_{დამ.ტრ.}^{3/2} (q - q_0). \quad (68)$$

რიგი მკვლევარების მიერ ჩატარებულმა ნატურულ კვლევებმა გვიჩვენეს, რომ დამოკიდებულების გრაფიკი მყარი ნატანის ხარჯსა (G) და სითხის ხარჯს შორის (q) წარმოადგენს ტეხილ ხაზს. უფრო ზუსტად შედგება ორი ხაზისაგან, რომელთა არსებობა აიხსნება ორი კრიტიკული ხარჯის არსებობით.

ქვედა კრიტიკული ხარჯი შეესატყვისება წაურეცხავ კრიტიკულ ხარჯს. მათთვის საანგარიშო დიამეტრად ითვლება ის დიამეტრი, რომელთა პროცენტული შემადგენლობა არ აღემატება 15%-ს ნატანთა იმ ფრაქციულ შემადგენლობაში, რომლებიც იმყოფებიან კალაპოტის აქტიურ ზონაში.

თუ მდინარის კალაპოტის ნატანის ფრაქციულ შემადგენლობაში დიამეტრს სიხშირის განაწილების მრუდი ემორჩილება ნორმალურ განაწილებას, მაშინ ქვედა კრიტიკული ზღვრისათვის საანგარიშო დიამეტრით იქნება

$$d_{კრ.ქვ.} = d_{საშ} \frac{d_{20}}{d_{80}}. \quad (69)$$

მრუდის $G = f(q)$ მეორე ტოტისთვის ანუ ზედა კრიტიკული ხარჯისთვის, რომელიც შეესაბამება ნატანის ყველა დიამეტრის დამჯრის და გადაადგილების დასაწყისი, ანუ ნატანის მასიური გადაადგილება. საამგარიშო დიამეტრად საჭიროა მივიღოთ დაახლოებით $3d_{კრ.ქვ.}$, ხოლო ზუსტად

$$d_{კრ.ზ.} = 2,7d_{კრ.ქ.} \quad (70)$$

ამ დროს ზედა კრიტიკული ხარჯი გამოდის საშუალოდ 4,4-ჯერ დიდი, ვიდრე ქვედა.

თუ შევადარებთ ამ მონაცემებს პროფესორ ლ.გ. გველესიანის ნატურულ კვლევებთან დავინახავთ, რომ.

მდ. მტკვარისათვის

$$\frac{Q_{კრ.ზ}}{Q_{კრ.ქ}} = 4,2, \quad (71)$$

ხოლო მდ. არაგვისთვის

$$\frac{Q_{კრ}}{Q_{კრ.ქ}} = 4,6. \quad (72)$$

გველესიანის ნატურული კვლევების ეს მონაცემები მთლიანად შეესაბამება ჩვენს საანგარიშო მონაცემებს.

თუ გვეცოდინება ნაკადის ტრანსპორტირების უნარი, შეგვიძლია დავადგინოთ ზღვრული დამყარებული ქანობი - $i_{ღამ.ტრ.}$:

$$G = ai_{ღამ.ტრ.}^{3/2} (q - q_0) = aqi_{ღამ.ტრ.}^{3/2} - aq_0i_{ღამ.ტრ.}^{3/2}. \quad (73)$$

თუ ჩავსვამთ q_0 -ის მნიშვნელობას (24)-დან, ანუ

$$q_0 = \frac{c}{i} (dA)^{3/2}. \quad (74)$$

მივიღებთ

$$aqi_{ღამ.ტრ.}^{3/2} - ac(dA)^{3/2}i_{ღამ.ტრ.}^{3/2} - G = 0. \quad (75)$$

ამ განტოლების ამოხსნა გვამღევს

$$i_{ღამ.ტრ.} = \frac{2}{3} \frac{c(dA)^{3/2}}{q} + \frac{16}{9} \left(\frac{G}{2aq} \right)^{2/3}. \quad (76)$$

ჩავსვათ c -ს და a -ს მონაცემები და მივიღებთ

$$i_{ღამ.ტრ.} = \frac{5,45\sqrt{gAd^3}}{q} + 2,8 \left(\frac{G}{\gamma_{ნაგ} \cdot q \sqrt{\frac{d}{h}}} \right)^{2/3}. \quad (77)$$

სადაც q – კალაპოტის მაფორმირებელი ხვედრითი ხარჯია;

G – მყარი ნატანის ხვედრითი წონითი ხარჯი.

A – სიდიდე, რომელიც იანგარიშება (21) გამოსახულებით.

მას შემდეგ რაც განისაზღვრება $i_{ღამ.ტრ.}$ შესაძლებელი ხდება ზედა ბიეფის ფორმირების მაქსიმალური სიგრძის გაანგარიშება (38) დამოკიდებულებით.

თეორიული, ლაბორატორიული და ნატურული კვლევების საფუძველზე შეიძლება ჩამოვყალიბოთ შემდეგი დასკვნები.

დასკვნები

1. ბარის და მთის მდინარეების ფორმირების პროცესები ძირეულად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან.
2. ბიეფების ფორმირება ხანგრძლივი პროცესია და შედგება სამი პერიოდისაგან. პირველ პერიოდში ზედა ბიეფი ილექება ფსკერული ნატანებით, ხოლო ქვედა ბიეფში სწარმოებს გამლიერებული ადგილობრივი და საერთო ეროზია. მეორე პერიოდში სწარმოებს ზედა ბიეფის ფსკერის დონის გაზრდა, ხოლო ქვედა ბიეფში კალაპოტის ნაწილობრივი აღდგენა.

მესამე პერიოდში მთავრდება ზედა ბიეფის ფორმირება, ხოლო ქვედა ბიეფში კალაპოტის მთლიანი აღდგენა.

3. ზედა ბიეფის ფორმირების სიგრძე ანუ მანძილი კაშხლიდან იმ კვეთამდე, სადაც ხდება ბუნებრივი და ახლად ფორმირებული კალაპოტების შერწყმა, და დამოკიდებულია როგორც კაშხლის სიმაღლეზე, ასევე ზედა ბიეფში ახლად დამყარებულ ქანობზე $i_{\text{დამ.ტრ.}}$, რომელიც უზრუნველყოფს კალაპოტში შემოსულ ყველა ნატანის ტრანსპორტირებას ქვედა ბიეფში.
ზედა ბიეფში დასილვის სიგრძის ანგარიში პერიოდების მიხედვით წარმოებს (37) დამოკიდებულებით, ხოლო მაქსიმალური სიგრძე ზემო ბიეფის ფორმირების დამთავრების შემდეგ წარმოებს (38) დამოკიდებულებით.
4. ზედა ბიეფის ფორმირების დამთავრების შედეგად მიღებული დამყარებული ტრანზიტული ქანობის $i_{\text{დამ.ტრ.}}$ შექმნა დამოკიდებულია ზედა ბიეფში შესული მყარი ნატანის რაოდენობაზე, მის მორფოლოგიურ მახასიათებლებზე, კალაპოტის მაფორმირებელი ნაკადის ხარჯზე და წაურეცხავი ხარჯების კრიტიკულ მნიშვნელობებზე.
5. დამყარებული ტრანზიტული ქანობი $i_{\text{დამ.ტრ.}}$ შეიძლება იყოს ნაკლები ან ტოლი კალაპოტის ბუნებრივ ქანობზე – $i_{\text{საშ.}}$ –ზე და გამოითვლება (77) დამოკიდებულებით. თუ $i_{\text{დამ.ტრ.}} = i_{\text{საშ.}}$, მაშინ (38) გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ ზედა ბიეფის ფორმირება გაგრძელდება ზემოთ ნაკადის გასწვრივ უსასრულოდ, თუმცა ნატურული კვლევების მონაცემებით ფორმირება გაგრძელდება კვეთამდე, სადაც ქანობი იწყებს მკვეთრად მატებას ან ვარდნილის მდებარეობამდე.
6. კრიტიკულ (წაურეცხავ) ხარჯის სიდიდე იანგარიშება (58) ან (60) გამოსახულებებით.
7. მყარი ნატანის ხარჯი, ორფაზა ნაკადის მოცემული ჰიდრო–მორფოლოგიური პარამეტრებისათვის იანგარიშება (68) დამოკიდებულებით, რომელიც თანხვედრაში ცდისეულ მონაცემებთან ცხრ. 2.

Литература

1. Алтунин С.Т. Водозаборные узлы и водохранилища. М.: Колос, 1964.
2. Данелия Н.Ф. Водозаборные сооружения на реках с обильными донными наносами. М.: Колос, 1964.
3. Данелия Н.Ф., Кутателадзе Н.Г., Данелия З.Н. Результаты натурных и лабораторных исследований ирригационных водозаборных узлов. ч. IV, Тбилиси: Н-и. отчет № 242/69, ГПИ им. В.И. Ленина, 1973.
4. Данелия Н.Ф., Кобулия Г.С., Данелия З.Н. Кутателадзе Н.Г. Новые водозаборные сооружения и водохранилища на горных и предгорных участках рек. М.: ВДНХ СССР, Ирригация и дренаж-75, 1975.
5. Данелия Н.Ф. Формирование русел рек при водозаборных узлах Тб.тр. Грузнииги 1960 г.
6. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. т. II, М.: Госиздат.

მდინარე შავი ზღვის ჰიდროეკოლოგიური წონასწორობის საკითხები.

მდინარეზე სამეურნეო დანიშნულების (ენერგეტიკა, ირიგაცია, დასახლებული ადგილებისა და სამრეწველო საწარმოთა წყალმომარაგება) წყალმიმღები ჰიდროკვანძების ამოცანას შეადგენს დაწმენდილი წყლის მიწოდება მოხმარების ადგილამდე. დასახული ამოცანა განსაკუთრებით პრობლემატიურია მთის მდინარეზე, რომლებიც ხასიათდებიან წყლის ხარჯის დიდი მერყეობითა და ნატანის სიუხვით, რაც თავის მხრივ დამოკიდებულია წყალშემკრები აუზის ფართსა და გეოლოგიაზე, კალაპოტის ქანობზე, ნალექების სიხშირესა და რაოდენობაზე, ტემპერატურის სეზონურ და დღეღამურ ცვლილებებზე და სხვა. გარდა ამისა, მთის მდინარეებისათვის დამახასიათებელია კალაპოტში გუბურების, ხერგილებისა და ყინულხერგილების წარმოქმნა, რომელთა გარღვევისას მდინარეში წყლის ხარჯი იზრდება 300-400 ჯერ, ხოლო ვიწრო ხეობებში წყლის დონე მალდება რამოდენიმე მეტრით.

ამასთან, ისიც ცნობილია, რომ მდინარეებზე წყასაცავების მოწყობით ირღვევა ათასწლეულობით დამყარებული ჰიდროლოგიური რეჟიმი, რაც გამოიხატება მდინარის შეტბორილი მონაკვეთის დასილვა-დაჭაობებაში, მიკროკლიმატის შეცვლაში, ქვემო ბიეფის კალაპოტის გამორეცხვაში და მყარი ნატანის შემცირების შედეგად მდინარის შესართავთან ზღვის სანაპირო ზოლის წარეცხვაში. გარდა ამისა, სრულად წყდება ან მნიშვნელოვნად მცირდება მდინარის მიერ ქვემო ბიეფსა და ზღვაში ფლორისა და ფაუნისათვის საკვები მიკროორგანიზმების ტრანსპორტი.

ამის ნათელ მაგალითს წარმოადგენს მე-20 საუკუნეში მდინარე რიონზე განხორციელებული ჰიდროობიექტების მშენებლობა. 30-ან წლებში რიონჰესის აგების შემდეგ შემცირდა რა ზღვაში მყარი ნატანის შეტანა, ქ. ფოთთან დაიწყო სანაპირო ზოლის წარეცხვა. დროთა განმავლობაში, წყალსაცავის ნაწილობრივი დასილვის შემდეგ ხდებოდა რა მისი პერიოდული გარეცხვა, დარეგულირდა რიონჰესის ქვემო ბიეფი, რასაც ხელს უწყობდა რიონის ქვემო ბიეფის შენაკადების (წყალწითელას, ყვირილას, ხანისწყლის, ცხენისწყლის, ხობის და სხვათა) მიერ რიონში შეტანილი ნატანიც.

მაგრამ მე-20 საუკუნის მე-2 ნახევარში რიონსა და მის შენაკადებზე აიგო მთელი რიგი ჰიდროტექნიკური ნაგებობები. კერძოდ მდ. ცხენისწყალი გადაგდებულ იქნა მდ. ლაჯანურში, ხოლო ამ უკანასკნელზე აიგო 69მ. სიმაღლის თაღოვანი კაშხალი, რომელმაც საერთოდ ჩაკეტა ლაჯანურის ხეობიდან მდ. რიონში ნატანის შეტანა. გუმათჰეს I და II აგებითა და ვარციხის წყალსაცავის მოწყობით კატასტროფულად შემცირდა მყარი ნატანის ტრანსპორტი ქვემო ბიეფში და წარმოიშვა დეფიციტი შესართავში. სხვა შენაკადების მიერ ჩატანილი ნატანი დღესაც ვერ ახდენს წარმოქმნილი დეფიციტის კონპენსაციას.

1950-იან წლებში მდ. რიონზე ქ. ფოთთან აიგო მარეგულირებელი კაშხალი, რომლის მეოხებით განხორციელდა ქ. ფოთის უზრუნველყოფა არხის წყლით. მაგრამ, მდ. რიონში მყარი ნატანის დეფიციტის გამო არხისა და რიონის შესართავებში ზღვამ შემოიწია ხმელეთისაკენ. არხის შესართავის მყარი ნატანით უზრუნველყოფის მიზნით ჰიდროკვანძის მიმდებარე ტერიტორიიდან (გეოლოგია-ქვიშნარი) მიწასაწოვი მანქანით დროდადრო ახდენდნენ გრუნტის

გადაქაჩვას არხში, ხოლო რიონის შესართავიდან ზღვის შესაკავებლად მის კალაპოტში კაშხლიდან 80მ. დაცილებით მოაწყვეს ლითონის ნარანდი (შპუნტი).

მდ. რიონის წყალდიდობისას არხში წყლის რეგულირების მიზნით მორიგეობით უნდა გაეხსნათ მარეგულირებელი კაშხლის ბრტყელი ფარები, მაგრამ ათი ფარიდან ამუშავებდნენ მხოლოდ ერთ-№5 ფარს. ქვემო ბიეფის მუდმივად ერთ უბანზე თავმოყრილი ფარქვეშ გამოდინებული წყლის ნაკადის ჰიდროდინამიკური დაწნევის ინტენსიური პულსაციით აღძრული ნიშანცვლადი დატვირთვა წყალცემის რ/ბეტონის ფილებზე იწვევდა გამჭიმავი ძაბვების მონაცვლეობით წარმოშობას ორივე თარაზულ ზედაპირზე და ამ ვიბრაციას გადასცემდა ფილტრაციული დატვირთვისთვის ქვეშ მყოფ საყრდენ გრუნტს. ამავე დროს, ამ უკანასკნელისა და ფილების საკონტაქტო ზონაში ვიბრაციის ფონზე უკუფილტრაციული წნევის შედეგად ვითარდებოდა საყრდენი გრუნტის ეროზია, რამაც ფილებს დააკარგვინა საპროექტო მდგომარეობა, გაფართოვდა მათ შორის ღრეჩოები (ნაკერები), რომლებშიც ჩამდინარე წყალმა სრულ ავარიულ მდგომარეობამდე მიიყვანა წყალსაცემი ფილები მე-3-მე-8 ბურჯების გასწვრივ და კაშხლის ფუძე-სადირკველი მე-5 ფარის ქვეშ.

მარეგულირებელ ჰიდროკვანძზე განვითარებული ავარიული პროცესები ამით არ დასრულებულა. ფარქვეშ გამოდინებული წყლის ნაკადი წყალსაცემების რ/ბეტონის ფილებსა და რისბერმაზე გადავლით მიემართებოდა ნარანდისკენ, სადაც იგი, ზღუდეთა გარშემოდინების თეორიის თანახმად, იწყებდა ცირკულაციურ მოძრაობას. ამის შედეგად ნარანდის წინ იქმნებოდა წყლისა და ამორეცხილი გრუნტის გრძივი ხრახნულ-მბრუნავი მასის ტრიალი, ამორეცხილი გრუნტის სიღრმემ ნარანდის წინ (მე-5 ფარის გასწვრივ მიაღწია 8,7მ პროექტთან შედარებით),

ხრახნულ-მბრუნავი ჰიდრონარევის მიერ ნარანდის წინ დაწყებული გრუნტის ამორეცხვა გაგრძელდა რისბერმისა და წყალსაცემისაკენ და სრულ ავარიულ მდგომარეობამდე მიიყვანა მარეგულირებელი ჰიდროკვანძის ქვემო ბიეფი მე-3-მე-8 ბურჯების პირდაპირ.

2005 წელს ტექნიკურად და ტექნოლოგიურად სრულყოფილად ჩატარებული სარეაბილიტაციო სამუშაოების შედეგად თავიდან იქნა აცილებული მარეგულირებელი ჰიდროკვანძის სრული კატასტროფა.

რჩევის სახით უნდა აღინიშნოს, რომ ნარანდის მოწყობილობა იყო შეცდომა და მსგავსი ავარიის თავიდან ასაცილებლად აუცილებელია მისი გაუქმება დამარეგულირებელი კაშხლის ყველა ფარის მონაცვლეობითი ექსპლუატაცია.

ნატანს მოკლებული მდინარეთა შესართავების დასაცავად უნდა მოეწყოს ამ უბნების შესაბამისი ნატანდამჭერი და ნაპირდამცავი კონსტრუქციები.

მთის მდინარეებზე მაღალი შეტბორვის ჰიდროკვანძის მოწყობით გამოწვეულ უარყოფით პირობას წარმოადგენს წყალსაცავიდან წყლის ძირითადი მასის სხვა მდინარის აუზში გადაგდება. მაგალითად, მდ. ენგურზე 271,5მ სიმაღლის თაღოვანი კაშხლის აგებისა და ენგურის წყლის მდ. ერისწყლის აუზში გადაგდებით არამარტო წყლის, ნატანისა და თევზის მოძრაობა შეწყდა ქვემო ბიეფში, არამედ ანაკლიასთან ზღვამ შემოუტია ხმელეთს და დაიწყო საანაპირო ზოლის წარეცხვა.

გარდა ამისა, ქვემო ბიეფში, შენაკად მდინარეთა ფსკერმა თანდათან აიწია, რადგან მათ მიერ ჩამოტანილი მყარი ნატანის შემდგომი გადაადგილებისათვის საჭირო რაოდენობის წყალი ენგურის ძველ კალაპოტში აღარ მიედინებოდა. შედეგად მოხდა ის, რომ 1987 წლის წყალდიდობისას ენგურის შენაკადი მდ. მაგანა ვეღარ დაეტია თავის კალაპოტში და დატბორა ქ. ჯვარის ენგურისპირა დასახლების პირველი სართულები.

მხედველობაშია მისაღები ის გარემოებაც, რომ მდ. ენგურს ჯვარის წყალსაცავში ყოველწლიურად შეაქვს 5 მლნ. მ3 მყარი ნატანი, რომლის რაოდენობამ უკვე გადააჭარბა 180 მლნ. მ3. ეს წყალსაცავის სრული მოცულობის (1.1 მლრდ. მ3) 16,3%-ია, ხოლო “მკვდარი მოცულობის”-41,5%. თუ ასე გაგრძელდა საუკუნის ბოლოს წყალსაცავში “მკვდარი მოცულობა” სრულად იქნება “ათვისებული” და დაიწყება სასარგებლო მოცულობის დასილვა-დაჭაობება.

ჯვარის წყალსაცავში მყარი ნატანი უკვე მომდგარია კაშხალთან და მალე პრობლემატური გახდება მისი სიღრმითი წყალსაგდებების ექსპლუატაცია.

მდ.ჭოროხის თურქულ ნაწილზე განხორციელებული და გათვალისწინებული მაღლივი ჰიდროკვანძების მოწყობით საქართველოს ტერიტორიაზე გამოიწვევს მდ. ჭოროხის კალაპოტის გამორეცხვას, ხოლო მოსალოდნელი კატასტროფული შედეგები აჭარის ზღვისპირა ზოლისათვის მრავალუცხოვანია, რადგან მდ. ჭოროხზე ჰიდროკვანძის ქვემო ბიეფში სრულად წყდება ნატანის მოძრაობა ზღვისკენ.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, მდინარეებზე ჰიდროტექნიკური საინჟინრო ნაგებობათა დაპროექტების, მშენებლობისა და ექსპლუატაციისა აუცილებელ პირობას უნდა წარმოადგენდეს ნაგებობათა ისეთი კონსტრუქციებისა და ჰიდროკვანძების ექსპლუატაციის ისეთი რეჟიმების შემუშავება, რომლებიც, გარდა ჰიდროკვანძების ძირითადი დანიშნულებისა, მდინარის მთელ სიგრძეზე, სათავიდან შესართავამდე, უზრუნველყოფენ მანამდე არსებულ ბუნებრივ ეკოლოგიურ წონასწორობას.

ამ პირობათა გადასაწყვეტად მთის მდინარეებზე უნდა მოეწყოს ისეთი ჰიდროკვანძები, რომელთა საშუალებითაც:

1. წყალდიდობის პერიოდში, როცა მდინარეში ყველაზე დიდია ნატანის მოძრაობა, წყლის მცირე რაოდენობით მოხდეს მისი ძირითადი მასის გატარება ქვემო ბიეფში;
2. თავიდან იქნას აცილებული წყალსაცავის დალამვა-დაჭაობება;
3. პრაქტიკულად შენარჩუნებული იქნას მდინარისა და ზღვის ფლორისა და ფაუნისათვის დამყარებული ეკოლოგიური წონასწორობა;
4. მიღებული იქნას საჭირო რაოდენობის ტექნიკური წყალი.

წარმოდგენილ წინადადებათა კომპლექსის განხორციელება მდინარე-ზღვის ეკოლოგიურ წონასწორობას უზრუნველყოფს პრაქტიკულად განუსაზღვრელი დროით, სანამ მდინარეზე განხორციელებული ნაგებობები არ ამოწურავენ თავიანთ ტექნიკურ შესაძლებლობებს.

უძველესი დროიდან მუშავდებოდა და ხორციელდებოდა მდინარეებიდან წყალამოღები კვანძების სხვადასხვა სქემები, კონსტრუქციები და მათი ექსპლუატაციის პირობები [6,7,8,9,10]. ამ გამოცდილებათა საფუძველზე დღეს მთის მდინარეების დამარეგულირებელი და სამეურნეო

დანიშნულების წყალმიმღები ნაგებობები კლასიფიცირდება კვების წყაროდან წყლის აღების ჰიდრაულიკური სტრუქტურის, კერძოდ, განივი ცირკულაციისა და ხრახნულ-მბრუნავი დინების გამოყენებით, რომლებიც წარმოიქმნიან წყლის დინების, კალაპოტისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა ურთიერთქმედების შედეგად [9]. ე.ი. წყლის ხრახნულ-მბრუნავი მოძრაობის აბრაზიული მოქმედება (რიონის მარეგულირებელი კაშხლის მაგალითზე) გამოიყენება ნატანის ქვემო ბიეფში ტრანსპორტირებისათვის.

ნაგებობათა ასეთი კლასიფიკაცია საშუალებას იძლევა მსგავსი ჰიდრაულიკური პირობების მქონე წყალმიმღები ნაგებობები გაერთიანდეს ცალ-ცალკე ჯგუფებში და ყოველი მათგანისათვის შემუშავდეს დაპროექტების, მშენებლობისა და ექსპლუატაციის შესაბამისი მეთოდები.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე წყალმიმღები ნაგებობები იყოფა შემდეგ ძირითად ტიპებად:

I. ღია ტიპის წყალმიმღები, რომლებშიც შედიან:

ა) გვერდითი-უკაშხლო და კაშხლიანი წყალმიმღებები;

ბ) დეზური ანუ ფრონტალური-უკაშხლო და კაშხლიანი წყალმიმღებები.

II. ფსკერული წყალმიმღები.

III. სიღრმითი წყალმიმღები.

პირველი და მეორე ტიპის წყალმიმღებთა სქემები, კონსტრუქციები და ექსპლუატაციის პირობები წარმოდგენილია ლიტერატურაში [6,7,8,9,10] და განხორციელებულია მრავალ მდინარეზე და დღესაც ექსპლუატაციაში არიან.

რაც შეეხება მესამე-სიღრმისეულ წყალმიმღებ ნაგებობებს, ისინი მოწყობილია ძირითადად ენერგეტიკული დანიშნულების მაღალი შეტბორვის კასკადური წყალსაცავების ე.წ. “მკვდარიმოცულობის” ზემოთ. ჰიდროკვანძების ასეთი მოწყობით ყოველი ზემოთ შეტბორილი წყალსაცავი დასილვა-დაჭაობებისაგან იცავს მის ქვემოთ მოწყობილ წყალსაცავს. ჰიდროკვანძების ასეთი მოწყობით უგულველყოფილია ქვემო ბიეფი, რადგან მდინარეში მოძრავი ნატანი მთლიანად რჩება წყალსაცავების “მკვდარმოცულობებში” (ლაჯანურჰესი, ენგურჰესი).

მაღალი შეტბორვის წყალსაცავების დასილვა-დაჭაობებისაგან დასაცავად და ნატანის ქვემო ბიეფში გადასატანად არის სხვადასხვა შემოთავაზებები [12], რომლებიც შეიძლება განხილული იქნას მხოლოდ როგორც იდეის დონემდე, რადგან ხევებში მოწყობილი გადამლობებით დაგროვილი ნატანის “დროთა განმავლობაში ტრანსპორტირება ქვემობიეფში” გაურკვეველია და დასმული საკითხი უპასუხო რჩება. ასევე ბუნდოვანია მეორე შემოთავაზებაც, რომ “ფსკერული და ატივნარებული ნატანი ამ გადამლობიდან წყალთან ერთად მიმართული იქნება ღია ან დახურულ დერევაციაში წყალსაცავის გვერდის ავლით კაშხლამდე. ეს ნატანი ჩაიშვება წყალსაცავში კაშხალთან ანუ წყალსაცავის შევსება მოხდება კაშხლის მხრიდან და არა გამოსოფლის ადგილიდან. ხოლო, რაც შეეხება ართმეულ ნატანს ის მუდმივ გარეცხვაზე მყოფ სალექრიდან ჩაიშვება ქვედა ბიეფში”. შემოთავაზებული წინადადების ღია არხით წყლის ნატანის ტრანსპორტი წარმოუდგენილია წყალსაცავის გასწვრივ (საჭიროა არხს

ჰქონდეს აუცილებელი ქანობი ნატანის ტრანსპორტირებისათვის). რაც შეეხება დახურული დერივაციით ტრანსპორტირებისას აბსოლუტურად გაურკვევლია თუ, სად აპირებენ ავტორები სალექრების განთავსებას.

არსებობს “ნატანსარიდი საინჟინრო ნაგებობიანი კაშხალი” [13], რომლის მიხედვითაც ნატანშემკრები კაშხალი აგებულია მდინარისა და წყალსაცავის შეერთების ადგილას, იმ სიმაღლეზე, სადაც მოქმედებენ ნატანის ჩამრეცხი ნაკადები. კაშხლის ზემოთი მხარეს ერთად შეკრული ბლოკების ძაბრისებრი ღარებით შექმნილია ნატანის ფსკერული შემკრები. წყალსაცავის შემტბორავ და ნატანშემკრებლოკებიანი კაშხლების ძირებში გაკეთებულია ნახვრეტები, რომლებიც ერთმანეთთან შეერთებულია ნატანსატარი მილებით.

ამ კონსტრუქციის ნაკლს წარმოადგენენ ნატანსატარ მილებში წყლის პირდაპირი დინებით მდინარის კალაპოტში მოძრავი მყარი ნატანის ტრანსპორტირების შეუძლებლობა, რადგან მილებში შესულ ჰიდრომასაში წყლის ხარჯი შეზღუდულია და მილსადენის მთელ სიგრძეზე ნატანის პირდაპირი გადაადგილებისათვის არასაკმარისი. მილსადენის რომელიმე მონაკვეთზე მოძრავმა ჰიდრომასამ რაიმე მიზეზით თუ შეანელა სიჩქარე, მისგან მაშინვე გამოიყოფა მყარი მასა, რაც გამოიწვევს მილის დაცობას.

ჰიდროკვანძზე წყლის ალების მაღალი კოეფიციენტის შესანარჩუნებლად საჭიროა, რომ ნატანსატარ მილებში წყლისა და ნატანის პირდაპირი დინება გარდაიქმნას ხრახნულ-მბრუნავ წინსვლით მოძრაობად. ამისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნას მილების შიგა ზედაპირზე მიმართველი ფარსაკეტების დამაგრება [14]. მაგრამ, ამ ხერხის გამოყენება მყარნატანიან ჰიდრომასისათვის მიუღებელი იქნება, რადგან ნარევის მყარი ნატანი ფარსაკეტებს მალე გამოიყვანს მწყობრიდან, მილებში შეწყდება ხრახნულ-მბრუნავი მოძრაობა და ნატანი გაიჭედება.

ნატანსატარ მილებში ჰიდრომასის ხრახნულ-მბრუნავი წინსვლითი მოძრაობის წარმოსაქმნელად ჩვენს მიერ წარმოდგენილი წინადადებით [15] მილების შიგაკვეთი არის ხელუხლებელი, ხოლო ზედაპირი გლუვი. მილების გარე ზედაპირზე მოწყობილია ხვიმირები, რომლებიც მიმართულია მილის შიგა წრის მხების მიმართულებით. ხვიმირების განივკვეთი ნატანსატარ მილსადენებთან მიერთების ადგილებში არის გრძელი მართკუთხედის ფორმის. ნატანშემკრებლოკებიანი კაშხალის თავზე მოწყობილია მდინარის დინების საპირისპიროდ მიმართული ნახევარწრიული კვეთის დახრილძირიანი სალექრები, რომელთაც წყალსაცავის მხარეს გააჩნიათ წყალსაშვები. ნატანსატარ მილებს თავსა და ბოლოში გააჩნიათ საკეტები მილებში ჰიდრომასის რეგულირებისათვის.

წყალსაცავის ავსების შემდეგ, წყალდიდობისას, როცა ყველაზე დიდია მდინარეში ფსკერული ნატანის მოძრაობა, გაიხსნება საკეტები. ნატანსატარ მილებში შესული ნატანიანი წყალი მოძრაობს გრძივი მიმართულებით ($V_{გრძ.}$), ხოლო ხვიმირებიდან შესული წყალი მილსადენის შიგა ზედაპირზე მიედინება წრიულად-გრძივი მიმართულების მართობულად ($V_{გან.}$), მილსადენებში გრძივ ($V_{გრძ.}$) და განივი ($V_{გან.}$) ნაკადების ვექტორთა შეერთებით

მოხდება აგრიგვლა და საერთო ხრახნულ-მბრუნავი ნაკადის (V_{ხრ.}) წარმოქმნა, რომლის მეოხებითაც მყარი ნატანი გამოტანილი იქნება ქვემო ბიეფში.

ნატანსატარ მილებში ხრახნულ-მბრუნავი ნაკადის წარმოსაქმნელად შესაძლებელია გამოყენებული იქნას ჰაერის ჭავლი, რომელიც წნევით იქნება შეშვებული ნატანსატარ მილსადენებში გამოსასვლელიდან.

ჰაერის ჭავლი მილსადენში წარმოქმნის ზონარს, რომლის ირგვლივ წყალი იწყებს ხრახნულ-მბრუნავ მოძრაობას და წარმოქმნის ე.წ. “წყლის ნაგრეს” [11].

შესაძლებელია კომბინირებული ვარიანტის, კერძოდ, ხვიმრებიდან შესული წყლისა და დაჭირხნული ჰაერის ჭავლის ერთობლივი ან მონაცვლეობითი გამოყენებით აღძრული იქნას მილში მოძრავი ჰიდრომასის ხრახნულ-მბრუნავი მოძრაობა. მაგრამ, ამისათვის საჭიროა სათანადო ექსპერიმენტების ჩატარება, რაც საშუალებას მოგვცემს მაღალი შეტბორვის ჰიდროკვანძებისათვის შემუშავდეს მყარი ნატანით გაჯერებული ჰიდრომასის ხრახნულ-მბრუნავი ნაკადის წარმოქმნის ტექნოლოგიური ხერხები.

ლიტერატურა

1. ნ. კოდუა- სამეცნიერო კვლევითი ანგარიში “აჭარის მდინარეების ათვისების სქემა” თბილისი 1998 წელი.
2. Ц.Е. Мирцхулава – Основы физики и механики эрозии русел. Ленинград Гидрометиздат 1988 г.
3. Н.Ф. Днелия –”Водозаборные сооружения на реках с обильными донными наносами” изд. ”Колос” Москва 1964 г.
4. Н.Г. Кутателадзе , З.Н. данелия - ”Результаты натурных и лабораторных исследований формирования берегов речных водозаборных узлов ”
5. О.Сичинава ”Некоторые показатели русловых переформирований в в/б-ах водозаборных узлов Грузии по натурным наблюдения ” Тр. ГрузНИИГим, вып. 27 Тб. стр. 76-83.
6. Гидротехнические сооружения. часть2. под ред. М.М.Гришина. Москва „Высшая школа,, 1979 г
7. Т.Г.Гегелия – Донные и бычковые водозаборные плотины. Тбилиси 1959 г.
8. Данелия Н.Ф. Водозаборные сооружения на реках с одильными донными наносами. „Колос,, М. 1964 г.
9. b. CikvaSvili – hidroteqnikuri nagebobebi. me-2 Sevsebuli gamocema “ganaTleba”, Tbilisi 1989w.
10. Новые водозаборные сооружения и водохранилища на горных и предгорных участках рек. Москва ВДНХ СССР 23 июля-3 августа 1975 г. Совеская экспозиция.
11. А.И. Арыкова-винтообразное движение потока в промывных устройствах гидроузлов, Изд. „Наука,, Казахской СССР. Алма-Ата 1984 г.
12. gabriCiZe, WumburiZe g. - mdinaris natanisagan wyalsacavis dacvis RonisZiebebisa da hidroeletqtrosadgurebis efeqturi gazrdis winadadebebis SemuSavebebi. Jurnal “energia” #3(59) 2011 w.
13. Патент Японии №57-52448 kl E 02 B 3/10 1982 г.

14. **М.В. Потапов и Б.А. Пышкин** „Метод поперечный циркуляции и его применение в гидротехнике. Изд. АН СССР м.л. 1947 г.
15. **ო. მიქაშვილი** -” ჰიდროკვანძი” GE 1242 B. For B 3/10. 1998 წ.

ამ ეტაპზე ჩატარებული სამუშაოების საფუძველზე შეიძლება მივიღოთ შემდეგი დასკვნები:

1. მდინარეებში ნატანის მოძრაობა წარმოებს ორი სახით: შეწონილ მდგომარეობაში და ფსკერზე გადაადგილებით.
2. მთის მდინარეებში მყარი ნატანის ძირითად მასას წარმოადგენს ფსკერული ნატანი.
3. ზღვის სანაპირო ზოლის ფორმირებაში ძირითადი ფაქტორია მდინარეთა მყარი ნატანის გამონატანი და მისი გავრცელება სანაპირო ზოლის გასწვრივ.
4. მრავალწლიანი ურთიერთქმედება მდინარეთა მიერ შემოტანილ მყარი ნატანის რაოდენობასა და ზღვის დინამიკურ ზემოქმედებას შორის განაპირობებს მათ წონასწორობას და სანაპირო ზოლის დამყარებულ მდგრადობას.
5. ცხადია, მდინარეთა მიერ შემოტანილი მყარი ნატანის რაოდენობის ცვლილება იწვევს სანაპირო ზოლის დამყარებულ დინამიკური წონასწორობის დარღვევას.
6. მდინარეებზე განხორციელებული ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობა განსაკუთრებით კაშხლების სახით, იწვევს მყარი ნატანის შეჩერებას და დაგროვებას ზედა ბიეფში, რომლის ფორმირება საკმაოდ გრძელვადიანია. ეს კი, განაპირობებს მყარი ნატანის მკვეთრ შემცირებას ქვედა ბიეფში და შესაბამისად შესართავ კვეთში, რაც იწვევს სანაპირო ზოლის დამყარებულ დინამიკური წონასწორობის დარღვევას.
7. 70-იანი წლებიდან თურქეთში დაწყებული გზებისა და ჰესების მშენებლობამ გამოიწვია მყარი ნატანის ჩმონადენის შეწყვეტა მდინარე ჭოროხის მეშვეობით, რამაც განაპირობა ზღვის სანაპირო ზოლის წარცხვა. ეს კი განსაკუთრებით დაეტყო ადლიის სანაპიროს.
8. თურქეთის ენერგეტიკის სამინისტროს მიერ მდინარე ჭოროხზე დაგეგმილი ათი, ხოლო მის შენკადებზე კი ხუთი ჰიდროელექტრო სადგურის აშენება, პრაქტიკულად სამუდამოდ შეწყვიტავს ამ მდინარის მიერ მყარი ნატანის ჩამოდინებას აჭარის ტერიტორიაზე.
9. სამომავლოდ აჭარის ტერიტორიაზე გათვალისწინებულ 30 მდინარეზე 44 ჰესის მშენებლობა კიდევ უფრო მძიმე მდგომარეობაში ჩააგდებს ზღვის სანაპირო ზოლს.
10. ცხადია უნდა შეუშავდეს ღონისძიებები ამ მდინარეებში მყარი ნატანის კაშხლების ზედა ბიეფებიდან ქვედა ბიეფებში გადასატანად ჰიდრო ტრანსპორტის მეშვეობით.
11. მყარი ნატანის ჰიდროტრანსპორტის განხორციელებისათვის საჭიროა საიმედო ანგარიშების ჩატარება, რაც ითვალისწინებს მდინარეთა და ხელოვნურ წყალგამტარების მიერ მათი მყარი ნატანის ტრანსპორტის უნარიანობის გარკვევას.
12. საჭიროა თეორიული ანალიზის საფუძველზე შეირჩეს საიმედო მეთოდოლოგია, ნაკადის მიერ ნატანის ტრანსპორტის უნარიანობის ანგარიშების დასადგენად.
13. შედგენილი წყალსაცავის დასილვისაგან დამცავი (დამარეგულირებელი) ახალი სქემა (გვ. 74-75) ჩვენი აზრით საჭიროებს მოდელურ ლაბორატორიულ შემოწმებას. ვვარაუდობთ დაფინანსების გაგარძელების შემთხვევაში მოგვეცემა ამის საშუალება.

