



## ზღვის წყლის გასუფთავების კომპლექსური სორბციულ-მემბრანული მეთოდების შემუშავება

ანა ხახუტაიშვილი<sup>1</sup>, ნინო კიკნაძე<sup>2</sup>, ნინო მხეიძე<sup>3</sup>, რუსლან დავითაძე<sup>4</sup>, ნარგიზ მეგრელიძე<sup>5</sup>,  
რაულ გოცირიძე<sup>6</sup>, ლამზირა კონცელიძე<sup>7</sup>

<sup>1</sup>მაგისტრი, ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი; <sup>2</sup>ასოცირებული პროფესორი, ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა დოქტორი, აგრარული და მემბრანული ტექნოლოგიების ინსტიტუტის მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი, ეკოლოგიის მეცნიერებათა აკადემიის წევრი; <sup>3</sup>აგრარული და მემბრანული ტექნოლოგიების ინსტიტუტის მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი, ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქიმიის დოქტორი; <sup>4</sup>აგრარული და მემბრანული ტექნოლოგიების ინსტიტუტის მეცნიერ თანამშრომელი, ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქიმიის დოქტორი; <sup>5</sup>აგრარული და მემბრანული ტექნოლოგიების ინსტიტუტის უფროსი მეცნიერ თანამშრომელი, ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქიმიის დოქტორი; <sup>6</sup>აგრარული და მემბრანული ტექნოლოგიების ინსტიტუტის მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი, ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქიმიის დოქტორი; <sup>7</sup> აგრარული და მემბრანული ტექნოლოგიების ინსტიტუტის მეცნიერ თანამშრომელი, ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი.

### აბსტრაქტი

გარემოსდაცვითი ღონისძიებებიდან გაჭუჭყიანების პრევენციასთან ერთად მეტად მნიშვნელოვანია ტექნოლოგიური პროცესების სრულყოფა და ჩამდინარე წყლების გაწმენდა. ნავთობითა და ნავთობპროდუქტებით (ნ/პ) წყლების გაჭუჭყიანების მიზეზი შეიძლება გახდეს როგორც მცირე ობიექტი, საწარმო (ტექნიკური შემოწმების ან ბენზინგამმართველი სადგური, ნავთობბაზა, სადაც ინახება პროდუქტი), ასევე თანამედროვე ქარხნის ტექნოლოგიური კომპლექსი. გარემოში მოხვედრილი ნავთობი თრგუნავს ადგილობრივ ეკოსისტემას და მიწების შემთხვევაში ანადგურებს ფლორას და ფაუნას.

ჩვენის კვლევის მიზანს წარმოადგენდა შავი ზღვის აჭარის სამხრეთ-აღმოსავლეთ აკვატორიის წყლების ნავთობით და ნავთობპროდუქტებით გაბინძურების შესწავლა, ნავთობით გაბინძურებული ზღვის წყლის კომპლექსური მეთოდით გაწმენდის შესაძლებლობის დადგენა, როცა გამფილტრავ მასალად გამოყენებულია იაფფასიანი პოლიმერული მასალა (ნარჩენი), საწარმოს ნარჩენი ბუნებრივი მასალა (ხის ნახერხი) და ადვილად რეგენერირებადი მიკროფილტრი.

საკვანძო სიტყვები: ზღვის წყლის გაჭუჭყიანება, სორბცია, საწარმოს ნარჩენი.

საწარმოებისა და სატრანსპორტო საშუალებების მკვეთრმა მატებამ გამოიწვია ნავთობპროდუქტებზე მოთხოვნილების გაზრდა, რაც ზრდის ამ პროდუქტებით ჰაერის და განსაკუთრებით წყლის დაბინძურების ალბათობას. წყლის ნავთობპროდუქტებით დაბინძურების ძირითად წყაროს წარმოადგენს: მომპოვებელი და ნავთობგადამამუშავებელი საწარმოები, საქაჩები, გადაქაჩვის და ტრანსპორტირების სისტემები, ნავთობსადენის მაგისტრალები, ტანკერები, ტერმინალები და ნავთობის ბაზები, ნავთობპროდუქტების საცავები, ავტოგასამართი კომპლექსები და სადგურები.

ზღვის წყლის ნავთობით გაჭუჭყიანებასთან ბრძოლის მეთოდებია: ჩაღვრის პრევენცია, ტექნოლოგიური პროცესების სრულყოფა, ჩაღვრის შემთხვევაში- ჩაღვრის დროული ლოკალიზება.

ზღვაში ჩაღვრილი ნავთობის ფენის გავრცელების საწინააღმდეგოდ მიმართავენ მის შემოღობვას ტივტივა ჯებირებით, რაც შესაძლებელია მხოლოდ კარგი ამინდის დროს.

ჩაღვრილი ნავთობის ლიკვიდაციის დროს იყენებენ ისეთ მეთოდებს, როგორცაა მექანიკური შეგროვება და შეგროვება სორბენტების გამოყენებით. სორბენტებად შეიძლება გამოყენებული იქნეს სხვადასხვა ტიპის ფოროვანი მასალა [1, 2, 3].

ძირითადი მოთხოვნა, რაც წაყენება სორბენტებს, ესაა ჰიდროფობურობა, არატოქსიკურობა, ეფექტურობა, სიიაფე, მრავალჯერადობა და გამოყენების შემდეგ უტილიზაცია [4,5,6].

ჩაღვრების პრევენციის და ლიკვიდაციის გარდა მნიშვნელოვანია ზღვაში ჩამდინარე წყლების წინასწარი გაწმენდა მასში გახსნილი გამჭუჭყიანებლებისგან. ნავთობის და ნ/პ შემცველის წყლების გასუფთავებისთვის მარტივი და ეფექტურია მჟონავი გაფილტვრა ადსორბენტის შრეში. ფართო გამოყენება აქვს მცენარეული წარმოშობის სორბენტებს: ცელულოზას [7,8], ბამბას [9], ხის ნახერხს [10,11,12], ტორფს [13] და ა.შ. მათ შორის ყველაზე იაფფასიანია საწარმოო ნარჩენი ხის ნახერხი და ასევე სხვადასხვა მცენარეული ნედლეულის გადამამუშავების ნარჩენი, მაგ. სიმინდის ტარო [14] ჩაის გადამამუშავების ნარჩენი [15], ბანანის კანი [16] და სხვა.

სორბენტის სახით გამოიყენებენ არაორგანული სორბენტებსაც: ვერმიკულიტს [17], ბენტონიტებს [18], სინთეზურ ცეოლიტებს [19].

სორბციის პროცესში მეტად მნიშვნელოვანია ნანოფორების ზომები [20]. მაღალი სორბციული თვისებები აქვს გააქტივებულ ნახშირს. სტატიის [21] ავტორებს გამოყენებული აქვს ადსორბენტად საქართველოს ტყიბულ- შაორის საბადოს ქვანახშირი, რომელსაც გააჩნია მეზოფორული განვითარებული სისტემა და მაღალი ადსორბციის უნარი.

ნაშრომში [22] აღწერილია მაღალფოროვანი სტრუქტურის მქონე პოლიპროპილენის ღრუბელის მიღება გამარტივებული სინთეზის გზით და მიღებული სორბენტის გამოყენება ნედლი ნავთობის შემცველი წყლების გასაწმენდად. მოდიფიცირებულ პოლიპროპილენს აქვს მაღალფოროვანი სტრუქტურა, მაღალი ჰიდროფობური თვისებები. ნავთობის გამოწურვის შემდეგ სრულად შესაძლებელია მისი რეგენერაცია.

სინთეზურ ფოროვან ადსორბენტებს, როგორცაა ქავპოლიურეთანები შეუძლიათ შთანთქან თავის მოცულობაზე 18-ჯერ მეტი მოცულობის ნავთობი. სილანებით დამამუშავებულ ჰიდროფობიზებულ პოლიურეთანს ნაკუწების სახით იყენებენ ჩაღვრილი ნავთობის

ლიკვიდაციისთვის, მოხმარების შემდეგ აგროვებენ, გამოწურავენ დაახლოებით ნავთობის 80%-ს და ისევ იყენებენ [23].

საქართველოში ისეთი მეორადი მასალა, როგორცაა ხის ნახერხი, ფოროვანი პოლიმერული მასალის ნარჩენები, ფაქტიურად წარმოებისთვის უსარგებლო ნარჩენს წარმოადგენს, მათი ფასები ძალიან მცირეა, პირიქით, მათი უტილიზაცია ეკოლოგიური თვალსაზრისით არის გამართლებული. ნავთობიანი წყლის გაწმენდის პროცესში სორბენტად ხის ნახერხის გამოყენების შემთხვევაში, გაიზრდება მისი წვის ეფექტურობა, ხოლო ფოროვანი პოლიმერული მასალის შემთხვევაში, შესაძლებელი იქნება გამოწურვის შემდეგ ნავთობის შეგროვება და მისი აღდგენა-რეკუპერაცია.

ჩვენი კვლევის მიზანს წარმოადგენდა ნავთობით დაბინძურებული ზღვის წყლის კომპლექსური მეთოდით გაწმენდის შესაძლებლობის შესწავლა, რისთვისაც სორბციისთვის შერჩეული იქნა საწარმოო ნარჩენი-ნახერხი და პოლიმერული მასალა- პოლიურეთანი.

**ექსპერიმენტული ნაწილი**

პირველ ეტაპზე გამოკვლეული იქნა შავი ზღვის აჭარის სამხრეთ-აღმოსავლეთ აკვატორიის წყლების ქიმიურ-ეკოლოგიური მდგომარეობა კვარიათიდან ფიჭვნარის სანაპირო ზოლის ჩათვლით. კვლევის ძირითადი ამოცანები იყო ზღვის წყლის ორგანოლექტიკური, ფიზიკურ-ქიმიური და სანიტარული პარამეტრების შეფასება, შემდგომში წყლის გაწმენდის მეთოდების შერჩევის მიზნით.

დადგინდა, რომ საკვლევ არეალში ზღვის წყალი ყველაზე უფრო გაჭუჭყიანებულია ბათუმის პორტის ტერიტორიაზე.

სუნი პორტის სანაპიროზე სეზონურად ფიქსირდებოდა 4-5 ბალის ფარგლებში, ანუ 2-3 ბალით მეტი ზდკ-ზე. ამ ლოკაციაზე წყალი იყო ძლიერ მღვრიე ყველა სეზონზე, არადამახასიათებელი მომწვანო-მოყვითალო ფერით, მოტივტივე ნაწილაკებით წყლის ზედაპირიდან დაახლოებით 0-50სმ სიღრმემდე [ცხრილი 1].

**ცხრილი 1**

**ზღვის წყლის ორგანოლექტიკური მაჩვენებლები.**

ლოკაცია	სუნი, ბალი			გამჭვირვალობა			შეფერილობა			მოტივტივე ნაწილაკები		
	შ	ზ	გ	შ	ზ	გ	შ	ზ	გ	შ	ზ	გ
ფიჭვნარი ს სანაპირო	0	0	0	გამჭვ.	გამჭვ.	გამჭვ.	--	--	---	--	-	--
კინტრიში ს შესართავ ო ზღვასთან	2	2	2	სუსტი მღვრი ე	სუსტი მღვრი ე	სუსტი მღვრიე	---	--	--	0- 30სმ	0- 30სმ	0- 30სმ

ჩაქვის სანაპირო	1	1	2	სუსტი მღვრი ე	გამჭვი რვალე	გამჭვი რ- ვალე	---	---	--	0- 10სმ	--	--
ყოროლის წყალის შესართავ ი ზღვასთან	3	2	2	სუსტი მღვრი ე	სუსტი მღვრი ე	სუსტი მღვრიე	--	---	---	0- 30სმ	0- 30სმ	0- 30სმ
პორტთან მიმდებარ ე სანაპირო ზოლი	5	4	5	ძლიე რ მღვრი ე	ძლიე რ მღვრი ე	ძლიერ მღვრიე	მომწვ. მოყვი თალო 0-10სმ	მომწ ვ. მოყვ ითა ლო 0- 10სმ	მომწ ვ.მოყ ვითა ლო 0- 10სმ	0- 50სმ	0- 50სმ	0- 50სმ
გონიოს სანაპირო	0	0	0	გამჭვი რვალე	გამჭვი რვალე	გამჭვი რვალე	--	-	--	-	--	--
კვარიათი ს სანაპირო	0	0	0	გამჭვი რვალე	გამჭვი რვალე	გამჭვი რ- ვალე	--	-	--	-	--	--
ნორმა	2 ბალი		0-30 სმ უნდა იყოს გამჭვირვალე			დაუშვებელია 0-10 სმ			წყლის ზედაპირზე და ზედა ფენაში არ უნდა იყოს ზღვის წყლისთვის არადაზიანებასათებელ ი მოტივტივე ნაწილაკები			

შენიშვნა: შ - შემოდგომა; ზ - ზამთარი; გ - გაზაფხული

ხსნადი  $O_2$ -ით ზღვის წყალი გამდიდრებულია კვარიათის და გონიოს ლოკაციებზე სამივე სეზონზე (9,10-10,08მგ/ლ), ამ პარამეტრის მინიმალური შემცველობით გამოირჩეოდა - პორტის ლოკაცია (3,95-5,46 მგ/ლ). სადაც ხსნადი  $O_2$ -ის კონცენტრაცია გაზაფხულის სეზონზე ნაკლებიც კი იყო ზღვ-ზე [ცხრილი 2].

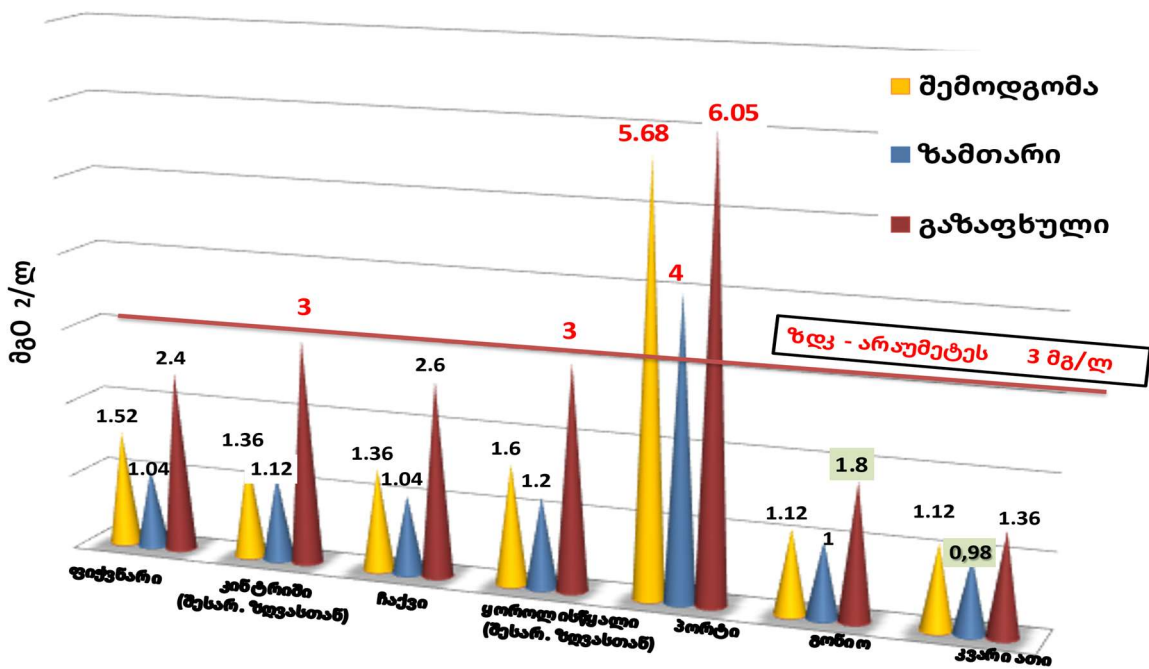
ცხრილი 2.

ხსნადი ჟანგბადის კონცენტრაცია და ჟბმ, მგ/ლ

ლოკაცია	ხსნადი $O_2$ , მგ/ლ			ჟბმ, მგ/ლ		
	შემოდგომა	ზამთარი	გაზაფხული	შემოდგომა	ზამთარი	გაზაფხული
ფიჭვნარის სანაპირო	8,79	9,70	7,60	1,0	1,11	1,75

კინტრიშის შესართავი ზღვასთან	8,10	9,40	7,49	1,1	1,11	1,80
ჩაქვის სანაპირო	7,85	9,0	7,40	1,11	1,20	2,00
ყოროლისწყალის შესართავი ზღვასთან	8,10	8,44	7,15	1,50	1,21	1,84
პორტან მიმდებარე სანაპირო ზოლი	4,80	5,46	3,95	3,40	3,10	3,65
გონიოს სანაპირო	9,40	10,06	9,10	0,9	0,86	1,10
კვარიათის სანაპირო	9,76	10,08	9,70	0,78	0,38	1,04
ზღვ	არანაკლებ 4 მგ/ლ			არაუმეტეს 3 მგ/ლ		

კვარიათი-გონიოს ლოკაციებზე წყალი იყო ჟანგბადით მდიდარი და ჟანგვადობა - ძლიერ დაბალი (0,98-1,8მგ/ლ). ამ პარამეტრის მაღალი მაჩვენებელი დაფიქსირდა პორტან მიმდებარე სანაპირო წყლებში ყველა სეზონზე (4,0-6,05 მგ/ლ), რაც გაბინძურების მაღალი ხარისხის მაჩვენებელია. წყლებში ჟანგვადობა მინიმალურია ზამთარში, ხოლო მაქსიმალური-გაზაფხულზე, რაც დაკავშირებულია ამ სეზონზე ორგანული ნივთიერებების რაოდენობის მატებასთან (დიაგრამა 3).



დიაგრამა 3. ჟანგვადობა, მგ O<sub>2</sub>/ლ



პორტის სანაპიროს და ბათუმის საზღვაო სადგურთან მიმდებარე პლიაჟის ლოკაციებზე, დამატებით განისაზღვრა ბიოგენური ნაერთების -  $\text{NH}_4^+$ -ის და  $\text{NO}_2^-$ -ის, აგრეთვე  $\text{SO}_4^{2-}$ -ის კონცენტრაციები. რადგან წყლებში აზოტის ნაერთების ძირითად წყაროებს წარმოადგენენ ორგანული ნაერთები, მდინარეთა ჩამონადენი და ატმოსფერული ნალექები. ამდენად, ჩვენს ინტერესს წარმოადგენდა ზემოაღნიშნულ ლოკაციებზე ორგანული ნაერთების დაგროვების პროცესზე დაკვირვება.

განისაზღვრა ნავთობპროდუქტების შემცველობა ზღვის წყლის სინჯებში, რომლებიც აღებული იქნა საკვლევ აკვატორიაში. ბათუმის პორტში აღებულ საწყის სინჯში ხსნადი ნავთობპროდუქტების მასური კონცენტრაცია იყო მაღალი (23 მგ/ლ). ეს შესაძლოა განპირობებული იყოს როგორც გემების ნავთობით დატვირთვისას წყალში ნავთობის ჩაღვრით, ასევე ტანკერების ავზების გაწმენდის შედეგად ნარეცხი წყლების მოხვედრით ზღვაში.

ზღვის წყალში ხსნადი ნავთობპროდუქტების მოცილების შესაძლებლობის შესაწავლის მიზნით, ჩვენს მიერ დამზადებული იქნა სორბციული სვეტები, რომლებშიც ჩატვირთული იყო ბუნებრივი (ნახერხი) და სინთეზური (პოლიურეთანი, იგივე პარალონი) სორბენტები. ჩვენს მიერ პორტის ტერიტორიაზე აღებული ზღვის წყლის ნიმუშების ჯერ-ნახერხზე (პირველი სვეტი) და შემდგომ-პარალონზე (მეორე სვეტი) გატარებასას, შესწავლილი იქნა ნავთობპროდუქტების კონცენტრაციის ცვლილება სორბციამდე და სორბციის შემდეგ. ნახერხზე გატარების შედეგად, მათი კონცენტრაცია 2,5-ჯერ შემცირდა, ხოლო პარალონზე გატარების შედეგად - 12,7-ჯერ. პირველი სვეტის ფილტრატში ხსნადი ნავთობპროდუქტების კონცენტრაციის უმნიშვნელო შემცირება მეორე სვეტთან შედარებით, ჩვენი აზრით, გამოწვეულია იმით, რომ პირველ ფილტრატში გადადის დაბალმოლეკულური მასის ნავთობპროდუქტები. მიღებული მონაცემებიდან ჩანს, რომ საწყისი სინჯისთვის ამ მოცემულ შემთხვევაში საკმარისი იყო მხოლოდ პარალონზე გატარება.

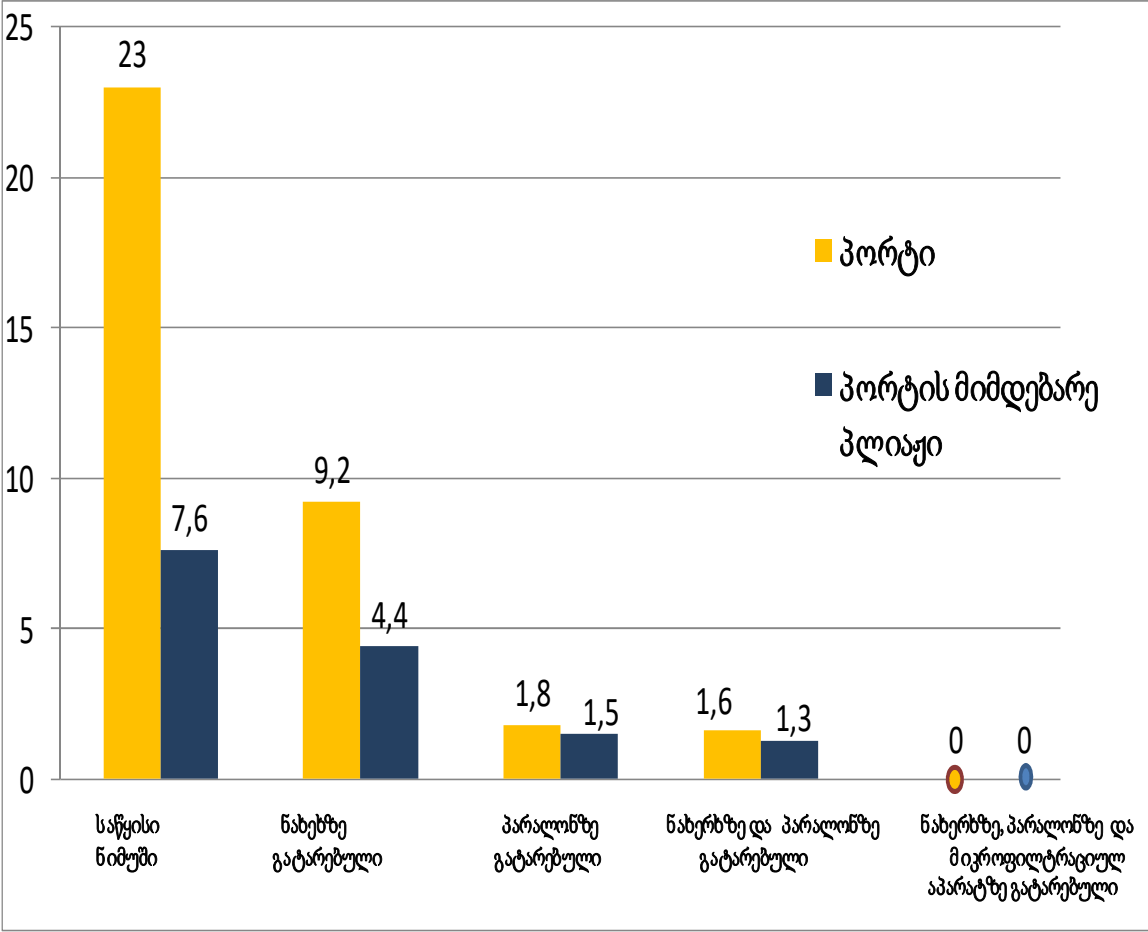


სურათი 1. სორბციული სვეტები

რაც შეეხება ბათუმის საზღვაო სადგურთან მიმდებარე სანაპირო პლიაჟს, სადაც საწყის სინჯში თითქმის 3-ჯერ ნაკლები იყო ხსნადი ნავთობპროდუქტების კონცენტრაცია პორტთან შედარებით, ნახერხზე გატარებით ვერ მივიღეთ ისეთივე ეფექტი, როგორც წინა შემთხვევაში. ხოლო პარალონზე გატარებით თითქმის იგივე შედეგები მივიღეთ, როგორც პორტის ლოკაციაზე. ჩვენის აზრით, ეს გამოწვეულია იმით, რომ პორტში ჩაღვრილი ნავთობი შეიცავს ნავთობპროდუქტების თითქმის სრულ სპექტრს, ამიტომ მოხდა მაღალმოლეკულური ნაერთების შეკავება და შესაბამისად შემცირდა მათი კონცენტრაცია ფილტრატებში. საზღვაო სადგურთან მიმდებარე პლიაჟის ლოკაციაზე შესაძლებელია ნავთობპროდუქტების მაღალმოლეკულური ნაერთები ზედაპირზე არსებულ ნავთობის აფსკს გამოეყოფა და ილექება სიღრმეში, ხოლო ზედაპირზე რჩება უმეტესად დაბალმოლეკულური ნაერთები, შესაბამისად, მათი სორბცია ნახერხზე ნაკლებად მოხდა. პარალონზე გატარების შემთხვევაში აქ თითქმის იგივე შედეგი დაფიქსირდა, რაც პორტის სინჯის შემთხვევაში. კომბინირებულ მეთოდს ამ შემთხვევაშიც ნაკლები ეფექტი ჰქონდა, პარალონზე გატარებასთან შედარებით (დიაგრამა 6). საჭიროა ნავთობის ანალიზი გაზქრომატოგრაფზე, რომ შეიქმნას სრული სურათი, რომელი კომპონენტები სორბირებს უპირატესად სორბენტზე და რომელი გადადის წყალში.

სორბციულ სვეტებში გატარების შემდეგ მიღებული ფილტრატი ბოლო საფეხურზე გაიფილტრა ლაბორატორიულ მიკროფილტრაციულ უჯრედში, რომელშიც მოთავსებული იყო ფთოროპლასტის მემბრანა. ფთოროპლასტის მემბრანა დამზადებული იყო ჩვენს მიერ პოლიმერული ფთოროპლასტის მოდიფიცირებით [24]. ექსპერიმენტით დადასტურდა, რომ მიკროფილტში გატარების შემდეგ მოხდა ნავთობის სრული მოცილება. ფთოროპლასტის

თერმო- და ქიმიური მდგრადობა იძლევა იმის საშუალებას, რომ მოვახდინოთ მისი რეგენერაცია მისი გაბიდვის შემთხვევაში.



**დიაგრამა 6.** ხსნადი ნავთობპროდუქტების მასური კონცენტრაციის ცვლილება სხვადასხვა სორბენტზე გატარებისას

**შედეგები**

ზღვის წყლის ხსნადი ნავთობპროდუქტებისგან გაწმენდის მიზნით გამოყენებულია კომბინირებული მეთოდი: პირველ საფეხურზე- სორბცია ხის ნახერზე, მეორე საფეხურზე- პოლიურეთანზე (პარალონი). ნავთობპროდუქტების ფინიშური გაწმენდისათვის გამოყენებულია მიკროფილტრი.

დადგენილია, რომ ფთოროპლასტური მემბრანა ვარგისია ნავთობპროდუქტების შემცველი წყლების გასაწმენდად წყალში მათი დაბალი შემცველობის დროს, წყალში ნავთობპროდუქტების შემცველობა ფილტრაციის შემდეგ მცირდება 75-85 %-ით.



ეკონომიური თვალსაზრისით, უმჯობესია სორბციული და მემბრანული ტექნოლოგიები გამოყენებული იქნეს უშუალოდ ზღვის დაბინძურების წყაროებთან და შემდეგ მოხდეს გასუფთავებული წყლის ჩაშვება ზღვაში. შავი ზღვის სტრატეგიული მნიშვნელობიდან გამომდინარე, აუცილებელია წყლის ქიმიური შედგენილობის სისტემატური კვლევა, მისი სისუფთავის ხარისხის შესაფასებლად და დროული პრევენციული ღონისძიებების გასატარებლად.

კვლევა შესრულებულია შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული ფონდის მიერ დაფინანსებული გრანტის FR-22-2857 ფარგლებში ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის აგრარული და მემბრანული ტექნოლოგიების ინსტიტუტში.

## ლიტერატურა

1. Rotar, Olga, &Iskrizhitskaya, Darina. (2014). Cleanup of Water Surface from Oil Spills Using Natural Sorbent Materials. *Procedia Chemistry*,10, 145-150. doi:10.1016/j.proche.2014.10.025
2. Adebajo, M., & Frost,, R. (2003). Porous Materials for Oil Spill Cleanup: A Review of Synthesis and Absorbing Properties. *Journal of Porous Materials*,1-31.
3. SIROTKINA, E., & NOVOSELOVA, L. (2005). Materials for Adsorption Purification of Water from Petroleum and Oil Products. *Chemistry for Sustainable Development*,359-375.
4. Payne, K. C., Jackson, C. D., Aizpurua, C. E., Rojas, O. J., &Hubbe, M. A. (2012). Oil Spills Abatement: Factors Affecting Oil Uptake by Cellulosic Fibers. *Environmental Science & Technology*,46(14), 7725-7730. doi:10.1021/es3015524
5. Wahi, R., Chuah, L. A., Choong, T. S., Ngaini, Z., &Nourouzi, M. M. (2013). Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: An overview. *Separation and Purification Technology*,113, 51-63. doi:10.1016/j.seppur.2013.04.015
6. Nenkova,, S., Garvanska,, R., &JeleV, S. (2003). FIBROUS-WOOD SORBENT FOR ELIMINATING OIL POLLUTION. *AUTEX Research Journal*,4(3), 157-163.
7. Mahfoudhi, N., &Boufi, S. (2017). Nanocellulose as a novel nanostructured adsorbent for environmental remediation: A review. *Cellulose*,24(3), 1171-1197. doi:10.1007/s10570-017-1194-0
8. Paulauskienė, T., Jucikė, I., Juščenko, N., &Baziukė, D. (2014). The Use of Natural Sorbents for Spilled Crude Oil and Diesel Cleanup from the Water Surface. *Water, Air, & Soil Pollution*,225(6). doi:10.1007/s11270-014-1959-0
9. Deschamps, G., Caruel, H., Borredon, M., Bonnin, C., &Vignoles, C. (2003). Oil Removal from Water by Selective Sorption on Hydrophobic Cotton Fibers. 1. Study of Sorption Properties and Comparison with Other Cotton Fiber-Based Sorbents. *Environmental Science & Technology*,37(5), 1013-1015. doi:10.1021/es020061s
10. Wahi, R., Chuah, L. A., Choong, T. S., Ngaini, Z., &Nourouzi, M. M. (2013). Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: An overview. *Separation and Purification Technology*,113, 51-63. doi:10.1016/j.seppur.2013.04.015~

11. Bethrand Tabugbo et al. (2014). PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF SAWDUST (CELLULOSE) AS AN ADSORBENT FOR OIL POLLUTION REMEDIATION. *International Journal of Natural Science Research*. 2(6), 97-102. მახავონი და ნაძვი
12. D. Sidiras, F. Batzias et al. Development of oil Spill adsorbent from autohydrolysis modified lignocellulosic waste material. *Recent Researches in Chemistry*. p163-169 რემედიაცია იაფი ნედლეულით (ფართოფოტოლოვანი და წიწვოვანი ხის ნახერხით)
13. Cojocar, C., Macoveanu, M., & Cretescu, I. (2011, July). Peat-based sorbents for the removal of oil spills from water surface: Application of artificial neural network modeling. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 384(1-3), 675-684. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.05.036> ტორფი
14. Nwadiogbu, J., Ajiwe, V., & Okoye, P. (2016). Removal of crude oil from aqueous medium by sorption on hydrophobic corncobs: Equilibrium and kinetic studies. *Journal of Taibah University for Science*, 10(1), 56-63. doi:10.1016/j.jtusci.2015.03.014
15. Geetha K.S and Belagali S.L (2013) Adsorption studies of plant Base Oil and Minerals oils on Thea PowderWast. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3( 1)
16. El-Din, G. A., Amer, A., Malsh, G., & Hussein, M. (2017). Study on the use of banana peels for oil spill removal. *Alexandria Engineering Journal*. doi:10.1016/j.aej.2017.05.020
17. Method of removing oil from polluted water using expanded vermiculite. *U.S. Patent No. US3414511A*. (1967). Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
18. Okiel, K., El-Sayed, M., & El-Kady, M. Y. (2011). Treatment of oil-water emulsions by adsorption onto activated carbon, bentonite and deposited carbon. *Egyptian Journal of Petroleum*, 20(2), 9-15. doi:10.1016/j.ejpe.2011.06.002
19. Bandura, L., Franus, M., Józefaciuk, G., & Franus, W. (2015). Synthetic zeolites from fly ash as effective mineral sorbents for land-based petroleum spills cleanup. *Fuel*, 147, 100-107. doi:10.1016/j.fuel.2015.01.067
20. Sung, T., Yu, A., & Tan, Z. (2017). *Oil adsorption performance and efficiency study on novel silane functionalized graphene polyurethane sponge*. Waterloo, Ontario, Canada: University of Waterloo.
21. Gvazava, E., Maisuradze, N., & Samkharadze, I. (2016). Purification of Sewage Contaminated by Oil Products Using Mesoporous Coal. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 44, 052016. doi:10.1088/1755-1315/44/5/052016
22. Wang, G., & Uyama, H. (2016). Facile synthesis of flexible macroporous polypropylene sponges for separation of oil and water. *Scientific Reports*, 6(1). doi:10.1038/srep21265
23. Alessandrello, M. J., Tomás, M. S., Raimondo, E. E., Vullo, D. L., & Ferrero, M. A. (2017). Petroleum oil removal by immobilized bacterial cells on polyurethane foam under different temperature conditions. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1-2), 156-160. doi:10.1016/j.marpolbul.2017.06.040
24. Mkheidze, N., Gotsiridze, R., Mkheidze, S., Tenieshvili, K. (2023). Production of the Microfiltration Membranes of Wide Range Porosity, High Mechanical, Thermal and Chemical Stability by "Green" Fabrication Method. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 24(8), 301-310. <https://doi.org/10.12912/27197050/171608>

# Development of Complex Sorption-Membrane Methods of Sea Water Purification

Ana Khakhutaishvili, Nino Kiknadze, Raul Gotsiridze, Nino Mkheidze, Nargiz Megrelidze, Ruslan Davitadze, Lamzira Kontselidze.

Agrarian and Membrane Technologies Scientific Research Institute of Shota Rustaveli State University, Batumi, Georgia.

In addition to implementing environmental measures to prevent pollution, improving technological processes and treating wastewater are crucial steps in addressing water pollution.

Water pollution with oil and oil products can stem from various sources, including small facilities like gas stations or technical inspections, as well as large industrial complexes. Oil spills can have devastating effects on local ecosystems, harming flora and fauna if left unchecked.

Our research aims to investigate oil and oil product pollution in the waters of the South-East Adjara region of the Black Sea. We seek to determine the feasibility of cleaning oil-contaminated seawater using a comprehensive method. This method involves utilizing inexpensive polymer materials (waste) as filter materials, alongside waste natural materials such as wood sawdust, and easily regenerated microfilters.

**Keywords:** sea water pollution, sorption, industrial waste.