

ნავთობის ლაქის დინამიკა ბათუმის შავი ზღვის აკვატორიაში

ია მოსაშვილი, თამაზ ობგაძე, არჩილ ფრანგიშვილი, დაჩი ჯანელიძე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

განხილულია ბათუმის შავი ზღვის აკვატორიაში ნავთობის ლაქის დინამიკა, ზღვის შიგა დინებებისა და დიფუზია-აორთქლების პროცესების გათვალისწინებით. შეფასებულია მოსალოდნელი ეკოლოგიური საფრთხეები. აგებულია შესაბამისი მათემატიკური მოდელი. გათვლების შედეგებზე დაყრდნობით აგებულია გეომეტრიული მოდელი შესაბამისი ვიზუალიზაციით.

საკვანძო სიტყვები: შავი ზღვა. ნავთობი. ეკოლოგიური საფრთხე. მათემატიკური მოდელი. გეომეტრიული მოდელი. დიფუზია-აორთქლების პროცესი.

1. შესავალი

ნავთობის გადატანა ხშირად ხდება ტანკერებით. ტანკერების შესაძლო დაზიანების შემთხვევაში დიდი ზღვის დაბინძურების ალბათობა. შესაძლებელია ავარიები ტერმინალებზეც, სადაც ხდება ტანკერების დატვირთვა ნავთობით. ასევე, ბაქო-ჯეიჰანის ნავთობსადენის გაყვანამ, საქართველოს ეკოლოგია მძიმე რისკების ქვეშ დააყენა, ვინაიდან მოსალოდნელია ნავთობსადენის დაზიანებაც. დაზიანება შეიძლება იყოს როგორც ბუნებრივი, ასევე, დივერსიულიც. ყოველივე ამან, განაპირობა აღნიშნული პრობლემის შესწავლის აუცილებლობა და აქტუალობა საქართველოს რიგი რეგიონებისათვის, რომლებიც ტურისტული ინფრასტრუქტურით არიან გაჯერებული და რომელთათვისაც გარემოს დაჭუჭყიანებას დიდი ზიანის მიყენება შეუძლია. განვიხილოთ ბათუმის რეგიონში შავი ზღვის აკვატორიის შესაძლო დაბინძურების დინამიკა. შავი ზღვის დაბინძურებას ადგილი აქვს სხვადასხვა ქვეყნების უპასუხისმგებლო მოქმედებების შედეგად. თითოეული მათგანის წილი ამ საქმეში მოყვანილია ცხრილში 1., რომელიც აღებულია სტოიანოვის სტატიიდან [1].

შავ ზღვაში ჩამდინარე დამაბინძურებელი ნაკადების მოცულობა (ტონა/წელიწადი) ცხრ.1

დაბინძურების წყარო	გულბარაში	საქართველო	რუმინეთი	რუსეთი	თურქეთი	უკრაინა	სულ
საყოფაცხოვრებო	5649.00	-	3144.10	-	7.30	21215.90	30016.30
საწარმო	2.72	78.00	4052.50	52.78	752.86	10441.00	45379.86
ხმელეთი	-	-	-	4200.00	-	5169.20	9369.20
მდინარე	1000.00	-	-	165.00	-	1473.00	2638.70
სულ	6651.72	78.00	7196.60	4418.48	760.16	38299.10	57404.06

ნავთობის ლაქის ზღვაში გავრცელების დინამიკა მეტად რთული პროცესია, რომელიც დამოკიდებულია მრავალ სხვადასხვა ფაქტორზე. ეს ფაქტორები განსაზღვრავენ, როგორც გარე სამყაროს ზემოქმედებას, ასევე, თვით ნავთობის ლაქის თვისებებს.

2. შავი ზღვის ცირკულაციის ძირითადი თავისებურებები და სინქარეტა ველის მოდელირება ვეივლეტ-ბაზისის მიმართ

ჰიდროფიზიკური დაკვირვებები [2-5], ცნობილი რიცხვითი მოდელები [6-9] და თანამგზავრებიდან გადაღებული სურათები [10-12], საშუალებას იძლევიან გამოვარკვიოთ შავი ზღვის ცირკულაციის არსებითი დეტალები. რაც მოცემულია შესაბამის სქემატურ ნახაზზე (ნახ.1.).

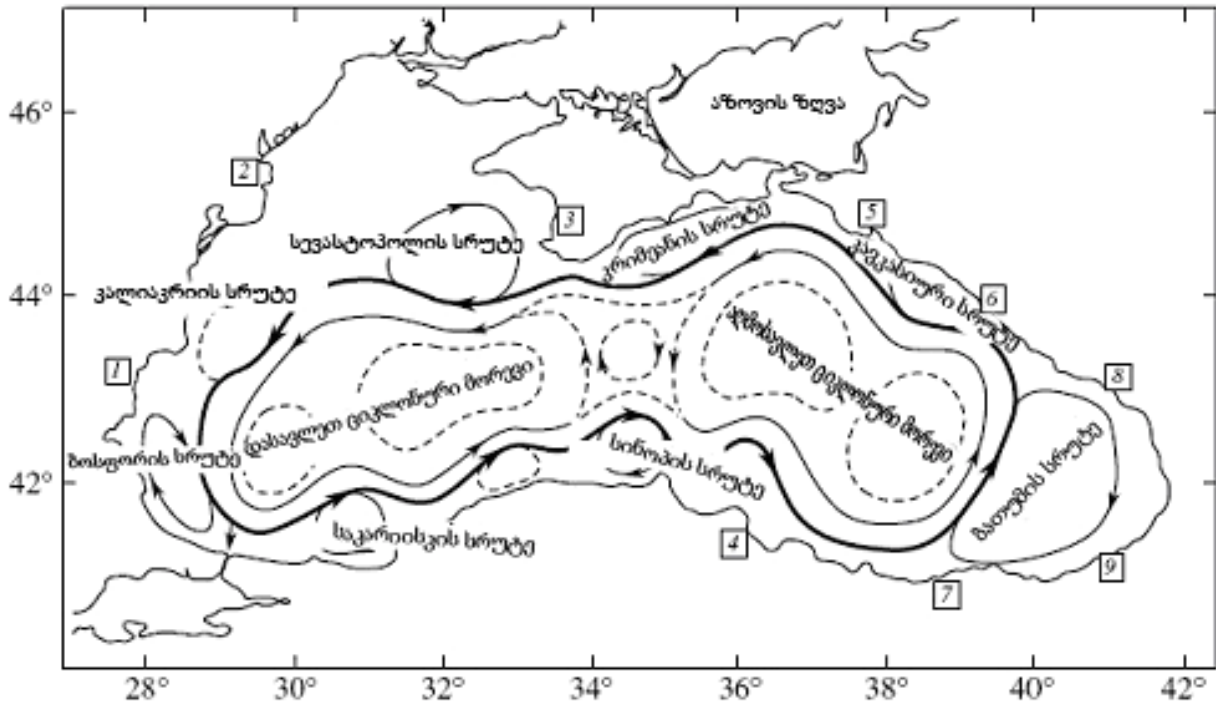
არსებულ მონაცემებზე დაყრდნობით [2-12], მოვანდინოთ შავი ზღვის ცირკულაციის სინქარეტა ველის მოდელირება. ამისათვის, გამოვიყენოთ მარის დედა-ვეივლეტებისაგან შემდგარი ბაზისი [13].

$$\Psi(t) = (1 - t^2) \cdot e^{-\frac{t^2}{2}}, \quad (1)$$

მაშინ, გვექნება წარმოდგენა

$$u(x, y) \approx \sum \sum \xi_{ij} \cdot 2^{\frac{i+j}{2}} \Psi(2^i \cdot x - i) \Psi(2^j \cdot y - j), \quad (2)$$

$$v(x, y) \approx \sum \sum \eta_{ij} \cdot 2^{\frac{i+j}{2}} \Psi(2^j \cdot x - i) \Psi(2^i \cdot y - j). \quad (3)$$



ნახ.1. შავი ზღვის ცირკულაციის ზოგადი სქემა [3]-სტატიიდან.
 1-მდინარე ვარნა, 2-მდინარე ღუნაი, 3-სევასტოპოლი, 4-სამსუნი,
 5-ნოვოროსიისკი, 6-სოჭი, 7-ტრაპიზონი, 8-სოხუმი, 9-ბათუმი

სადაც, წარმოდგენის ξ_{ij} და η_{ij} კოეფიციენტები განისაზღვრება ექსპერიმენტულ $V_{exp}(U_{ij}; V_{ij})$ მონაცემებთან, შესაბამისი თეორიული $V_{teor}(u_{ij}; v_{ij})$ მონაცემების საუკეთესო მიხედვების პირობებიდან, გაუსის დისკრეტული ნორმის მიხედვით

$$\|V_{teor} - V_{exp}\| \rightarrow \min. \quad (4)$$

ანუ.

$$\sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^k [(u_{ij} - U_{ij})^2 + (v_{ij} - V_{ij})^2] \rightarrow \min. \quad (5)$$

მაშინ, მივიღებთ რომ სიჩქარეთა ველის (2),(3) წარმოდგენისათვის ნაპოვნია გაშლის ξ_{ij} და η_{ij} კოეფიციენტები შავი ზღვის ბათუმის აკვატორიისათვის. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად ვიყენებთ პროგრამულ პაკეტს Mathcad -2001i.

$$\Psi(t) := (1 - t^2) \cdot e^{-\frac{t^2}{2}}$$

N := 2

$$f1(\xi, k, m) := \sum_{j=0}^N \sum_{i=0}^N \left(\xi_{i,j} \cdot 2^{\frac{j+i}{2}} \cdot \Psi\left(2^{\frac{j}{2}} \cdot k - i\right) \cdot \Psi\left(2^{\frac{i}{2}} \cdot m - j\right) \right)$$

$$f2(\xi, k, m) := \sum_{j=N+1}^{2N} \sum_{i=N+1}^{2N} \left(\xi_{i,j} \cdot 2^{\frac{j+i}{2}} \cdot \Psi\left(2^{\frac{j}{2}} \cdot k + i\right) \cdot \Psi\left(2^{\frac{i}{2}} \cdot m + j\right) \right)$$

$$f(\xi) := \sum_{k=0}^6 \sum_{m=0}^6 [(f1(\xi, k, m) + f2(\xi, k, m)) - U_{k,m}]^2$$

$$g1(\eta, k, m) := \sum_{j=0}^N \sum_{i=0}^N \left(\eta_{i,j} \cdot 2^{\frac{j+i}{2}} \cdot \Psi\left(2^{\frac{j}{2}} \cdot k - i\right) \cdot \Psi\left(2^{\frac{i}{2}} \cdot m - j\right) \right)$$

$$g2(\eta, k, m) := \sum_{j=N+1}^{2N} \sum_{i=N+1}^{2N} \left(\eta_{i,j} \cdot 2^{\frac{-j+i}{2}} \cdot \Psi\left(2^{\frac{-j}{2}} \cdot k + i\right) \cdot \Psi\left(2^{\frac{-i}{2}} \cdot m + j\right) \right)$$

$$g(\eta) := \sum_{k=0}^6 \sum_{m=0}^6 [(g1(\eta, k, m) + g2(\eta, k, m)) - V_{k,m}]^2$$

$$H(\xi, \eta) := f(\xi) + g(\eta)$$

$$i := 0..2 \cdot N$$

$$j := 0..2 \cdot N$$

$$\xi_{i,j} := 1$$

$$\eta_{i,j} := 0$$

Given

$$R := \text{Minimize}(H, \xi, \eta)^*$$

$$R = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.141 & 0.42 & 0.093 & 0.5 & 0.25 \\ 0.42 & -0.471 & -1.13 & 0.25 & 0.5 \\ 0.03 & -1.856 & 0.263 & 0.5 & 0.25 \\ 0.5 & 0.25 & 0.5 & 0.282 & 0.506 \\ 0.25 & 0.5 & 0.25 & 0.505 & 0.25 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} -0.05 & 0.031 & -0.019 & 0 & 0 \\ 0.031 & -0.051 & -0.022 & 0 & 0 \\ -0.014 & 0.013 & 0.024 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0 & -0 \end{pmatrix} \end{pmatrix}$$

$$H(\xi, \eta) = 113.434$$

$$\xi := R_0$$

$$\eta := R_1$$

$$\xi = \begin{pmatrix} 0.141 & 0.42 & 0.093 & 0.5 & 0.25 \\ 0.42 & -0.471 & -1.13 & 0.25 & 0.5 \\ 0.03 & -1.856 & 0.263 & 0.5 & 0.25 \\ 0.5 & 0.25 & 0.5 & 0.282 & 0.506 \\ 0.25 & 0.5 & 0.25 & 0.505 & 0.25 \end{pmatrix}$$

$$\eta = \begin{pmatrix} -0.05 & 0.031 & -0.019 & 0 & 0 \\ 0.031 & -0.051 & -0.022 & 0 & 0 \\ -0.014 & 0.013 & 0.024 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0 & -0 \end{pmatrix}$$

$$u(x, y) := \sum_{j=0}^N \sum_{i=0}^N \xi_{i,j} \cdot 2^{\frac{j}{2}} \cdot \Psi\left(2^{\frac{j}{2}} \cdot x - i\right) \cdot \Psi\left(2^{\frac{i}{2}} \cdot y - j\right) + \\ + \sum_{j=N+1}^{2N} \sum_{i=N+1}^{2N} \xi_{i,j} \cdot 2^{\frac{-j}{2}} \cdot \Psi\left(2^{\frac{-j}{2}} \cdot x + i\right) \cdot \Psi\left(2^{\frac{-i}{2}} \cdot y + i\right)$$

$$v(x, y) := \sum_{j=0}^N \sum_{i=0}^N \eta_{i,j} \cdot 2^{\frac{j}{2}} \cdot \Psi\left(2^{\frac{j}{2}} \cdot x - i\right) \cdot \Psi\left(2^{\frac{i}{2}} \cdot y - j\right) + \\ + \sum_{j=N+1}^{2N} \sum_{i=N+1}^{2N} \eta_{i,j} \cdot 2^{\frac{-j}{2}} \cdot \Psi\left(2^{\frac{-j}{2}} \cdot x + i\right) \cdot \Psi\left(2^{\frac{-i}{2}} \cdot y + i\right)$$

რაც, საშუალებას გვაძლევს გადავიღოთ ნაფიქსირებელი ლაქის დინამიკის განტოლებებზე.

3. ნავთობპროდუქტების გადატანის, დესტრუქციისა და ზღვის წყალთან შერევის მოდელირება

ნავთობპროდუქტების გადატანის, დესტრუქციისა და ზღვის წყალთან შერევის განტოლებათა სისტემას აქვს სახე:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} - K_{1x} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - K_{1y} \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + K_D^{(W)} X_i S_i M_i^{(m)} = 0, \quad i = 1, i = 2; \quad (6)$$

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + u \frac{\partial C_i}{\partial x} + v \frac{\partial C_i}{\partial y} - K_x \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} - K_y \frac{\partial^2 C_i}{\partial y^2} = 0, \quad i = 3, \quad (7)$$

სადაც t – დროა(წმ), K_D – ნახშირბადების მასის გადატანის კოეფიციენტი(მ/წმ);

X_i – არის i -ური კომპონენტის მოლის მასა, რომელიც ტოლია $\frac{M_i}{\sum M_i}$;

K_x, K_y – ტურბულენტური დიფუზიის კოეფიციენტებია (x, y) სიბრტყეში(მ²/წმ);

S_i – წყალში i -ური კომპონენტის გახსნადობის კოეფიციენტი(კგ/მ³).

სასაზღვრო და საწყისი პირობები დამოკიდებულია დაბინძურების წესზე;

დაბინძურების წამიერი, ზალბური გადმოსხმის შემთხვევაში საწყის და სასაზღვრო პირობებს აქვთ სახე:

$$C|_{t=0, (x, y) \in S_0} = C_0 \quad (8)$$

$$C|_{t=0, (x, y) \notin S_0} = 0, \quad (9)$$

სადაც S_0 – ნავთობის ლაქით დაკავებული არეა, C_0 – ნავთობის კონცენტრაციაა ლაქის არის შიგნით.

როგორც ცნობილია [3,6], შავი ზღვის საშუალო სიჩქარე ბათუმის აკვატორიაში იცვლება 11 სმ/წმ-დან 23 სმ/წმ-მდე. დაბინძურების გავრცელების რიცხვითი მოდელირებისას, ჩვენ ვსარგებლობდით მონაცემებით: ნავთობის ლაქის აორთქლების კოეფიციენტი 0.1; ტურბულენტური დიფუზიის კოეფიციენტი – 1/200. დავუშვით, რომ ავთობის ლაქა წარმოიშვა ნაპირიდან 25 კმ-ის დაშორებით და მისი ფართობია 155 კმ². (6),(7),(8),(9) ამოცანის ამოსახსნელად, დროითი წარმოებული შეიცვალა სასრული სხვაობით. ამონახსნებს ვეძებთ მარის დედა ვეივლებებისაგან შემდგარი ბაზისის მიმართ არაწრფივი დაპროგრამების მეთოდზე დაყრდნობით, დროის ყოველი მომენტისათვის[13-14]. დროის ბიჯი ავიღეთ 0.0008. გათვლები წარმოებდა უგანზომილებო სახით. შედეგები მოყვანილია მე-2 ცხრილში.

ცხრ.2

ნავთობის ლაქის ცენტრის გადაადგილება(კმ)	ნავთობის ლაქის საზღვრის გადაადგილება(კმ)	კონცენტრაცია ნავთობის ლაქის ცენტრში	კონცენტრაცია ლაქის საზღვარზე	შბანზო მიღებ(ო ღრო)	რეალური ღრო(სო)	ლაქის დიამეტრი(კმ)	დაბინძურების ფართობი(კმ ²)
0.0	14.1	1.00	1.00	0.00	0.0	10.0	155
2.1	17.65	0.86	0.082	1.52	2.2	11.0	200
4.2	21.2	0.74	0.062	3.03	4.2	11.5	252
6.35	24.01	0.645	0.053	4.545	6.3	12.5	350
8.5	27.5	0.54	0.08	6.06	8.4	12.8	440

როგორც ვხედავთ, ტანკერის დაზიანებას ბათუმის შავი ზღვის აკვატორიაში, ნაპირიდან 25 კმ-ის დაშორებით, უკვე ერთი დღის განმავლობაში შეუძლია მოაღწიოს ნაპირს და დიდი ზიანი მიაყენოს ტურისტულ ინფრასტრუქტურას. რაც აუცილებელს ხდის გაიზარდოს ტანკერების საიმედოობის ხარისხი და საზღვაო კურსი მეტად დაშორდეს ბათუმის ნაპირებს, რათა ავარიის შემთხვევაში, მეტი დრო იყოს, გაწმენდისა და დაცვითი სამუშაოების ჩასატარებლად.

ლიტერატურა:

1. Stoyanov D., Dorogan P., Jelescu S. The Black Sea contingency planing for marine oil spills // Environmental Degradation of the Black Sea: Challenges and Remedies

- / Eds. Besiktepe S.T. et al. 1999. V. 2. P. 351–367
2. Aubrey D.G, Oguz T., Demirov E. et al. Hydroblack'91 CTD Intercalibration workshop. UNESCO, Intergovernmental Oceanographic Commission // Workshop report 91. 1993. 56 p.
 3. Oguz T., Latun V. S., Latif M. A. et al. Circulation in the surface and intermediate layers in the Black Sea // Deep Sea Res. 1993. V. 1. < 40. P. 1597–1612
 4. Nihoul J.C.J, Djenedi S. Hierarchy and scales in marine ecohydrodynamics // Earth Sci. Rev. 1991. V. 31. P. 255–277
 5.
//, 1987, . 27, 5, . 739-746
 6. Stanev E. V. On the mechanisms of the Black Sea circulation // Earth-Science Rev. 1990. V. 28. P. 285–319
 7. Stanev E. V., Beckers J. M. Numerical simulations of seasonal and interannual variability of the Black Sea thermohaline circulation // J. Mar. Sys. 1999. V. 22
P. 241–267
 8. Stanev E.V., Staneva J.V. The impact of the baroclinic eddies and basin oscillations on the transitions between different quasi-stable states of the Black Sea circulation
// J. Mar. Sys. 2000, V. 24. P. 3–26
 9. Staneva J.V., Dietrich D.E., Stanev E.V., Bowman M.J. Mesoscale Circulation in the Black Sea: New results from DieCAST Model Simulations // J. Mar. Sys. 2001, V. 31.,
P. 137–157
 10. Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., Krivosheya V.G. et al. Mesoscale eddies and related processes in the northeastern Black Sea // J. Mar. Syst. 2002. V. 32. P. 71–90
 11. Sur H. I., Ozsoy E., Ilyin Y. P., Unluata U. Boundary current instabilities, upwelling, shelf mixing and eutrophication processes in the Black Sea // Progr. Oceanogr.
1994. V. 23. P. 249–302
 12. Wheeler R.B. The fate of petroleum in marine environment // Special Report, Exxon Production Research Co. Huston, 1978. 125 p.
 13., - , , 2002, . 440
 14. ობგაძე თ. მათემატიკური მოდელირების კურსი(რხვეითი სისტემები), ტ.4, თბილისი, 2010, 99გვ.

DYNAMICS OF THE OIL SPOT IN THE BLACK SEA WATERS OF BATUMI

Mosashvili Ia, Obgadze Tamaz, Prangishvili Archil, Janelidze Dachi
Georgian Technical University

Summary

The paper is discussed the oil spot dynamics in the Black Sea waters of Batumi, in consideration of the internal flow of the sea and the processes of diffusion and evaporation. The possible ecological threats are assessed and then created a mathematical model of environmental pollution. The geometric model with corresponding visualization is based on calculations results.

Резюме

P