

A photograph of a sunset over the Black Sea. The sun is a bright orange orb on the horizon, surrounded by a layer of clouds. Above, the sky is filled with larger, darker clouds tinged with orange and yellow from the setting sun. The sea in the foreground is a deep blue with small, white-capped waves.

CURRENTI MARINI

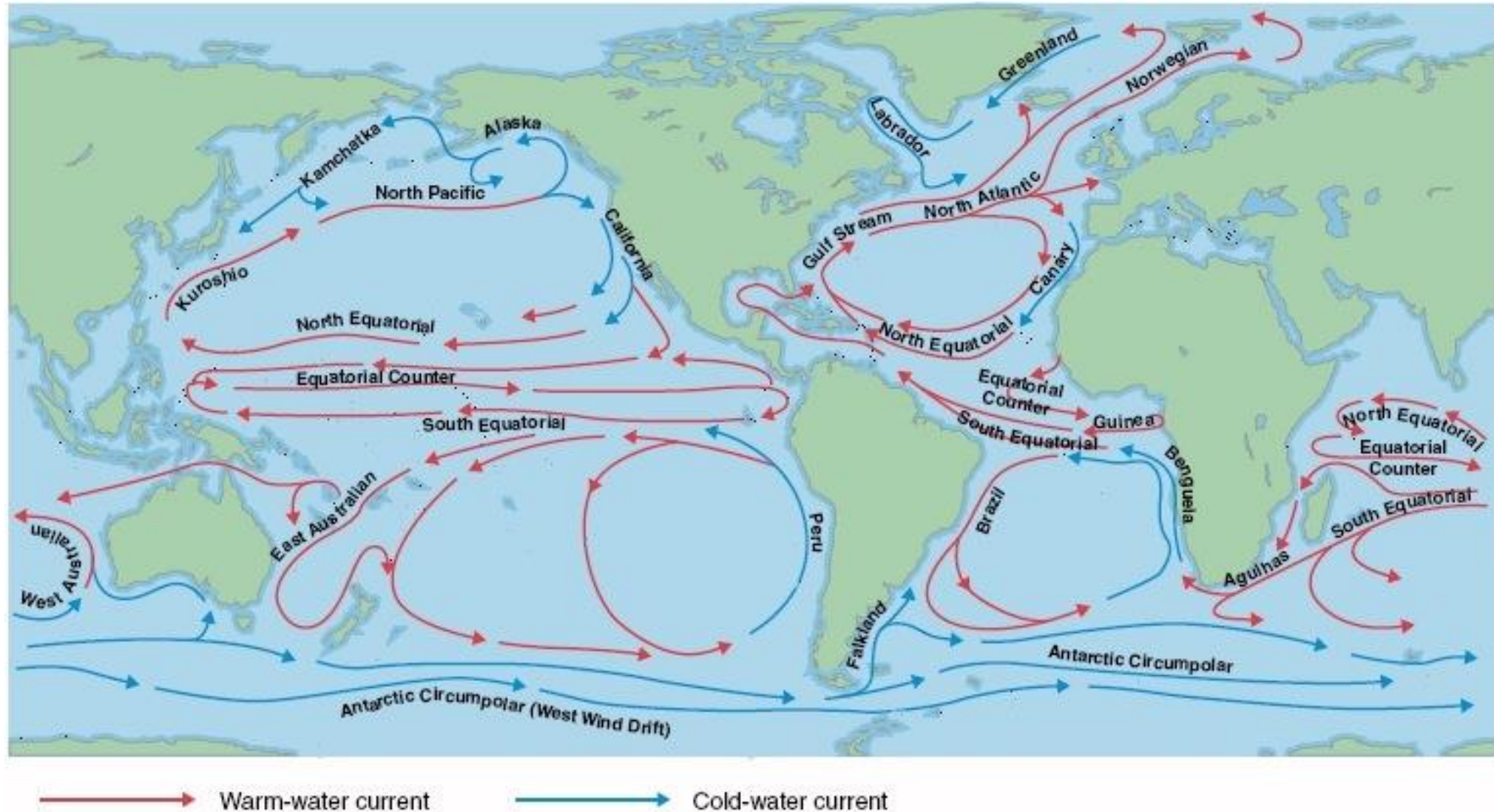
MAREA NEAGRA

fizician Vasile DIACONU

Cauzele curenților oceanici

- **Forța gravitațională**
(atracția Lunii și Soarelui generează marea)
- **Tensiunea tangențială a vântului pe suprafața mării**
- **Gradientii presiunii**
(diferențele de densitate a maselor de apă)

CIRCULATIA GENERALA IN OCEANUL PLANETAR



Ecuatiile mișcării turbulente nepermanente a fluidului vâscos (Navier – Stokes)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + 2v\Omega \sin \varphi + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_V \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - 2u\Omega \sin \varphi + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_V \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_V \frac{\partial w}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0$$

Ecuatia de continuitate

$$\rho = \rho(S, T, p)$$

Ecuatia de stare **(TEOS-10)**

CAZURI SPECIALE

Mișcare inerțială

Ecuatiile mișcării:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -fv \quad \frac{\partial v}{\partial t} = fu$$

Soluția:

$$u = V \sin(ft) \quad v = V \cos(ft)$$

Mișcare circulară

raza:

$$R = V/f$$

perioada:

$$T = 2\pi/f = 12 \text{ ore siderale} / \sin\varphi$$

Curgere geostrofică

Ecuatiile mișcării:

$$fv = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad fu = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}$$

Soluția:

$$u = -\frac{1}{\rho f} \frac{\partial p}{\partial y} \quad v = \frac{1}{\rho f} \frac{\partial p}{\partial x}$$

Miscare liniară (gradient uniform)

În lungul izobarelor, **perpendicular**
pe gradientul presiunii

Curenți de vânt (derivă) - Teoria Ekman (1905)

Ecuatiile mișcării:

$$-fv = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + A_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

$$fu = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + A_z \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}$$

Soluția:

$$u(z) = V_0 \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{D} z\right) \exp\left(-\frac{\pi}{D} z\right)$$

$$v(z) = V_0 \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{D} z\right) \exp\left(-\frac{\pi}{D} z\right)$$

$$\tau = \rho_a C_D W^2$$

$$\text{la } z = 0 \quad A_z \frac{\partial u}{\partial z} = \tau$$

$$V_0 = \frac{\sqrt{(2\pi\tau)}}{D\rho f} \quad D = \pi \sqrt{\frac{2A_z}{f}}$$

Paralela 45°N

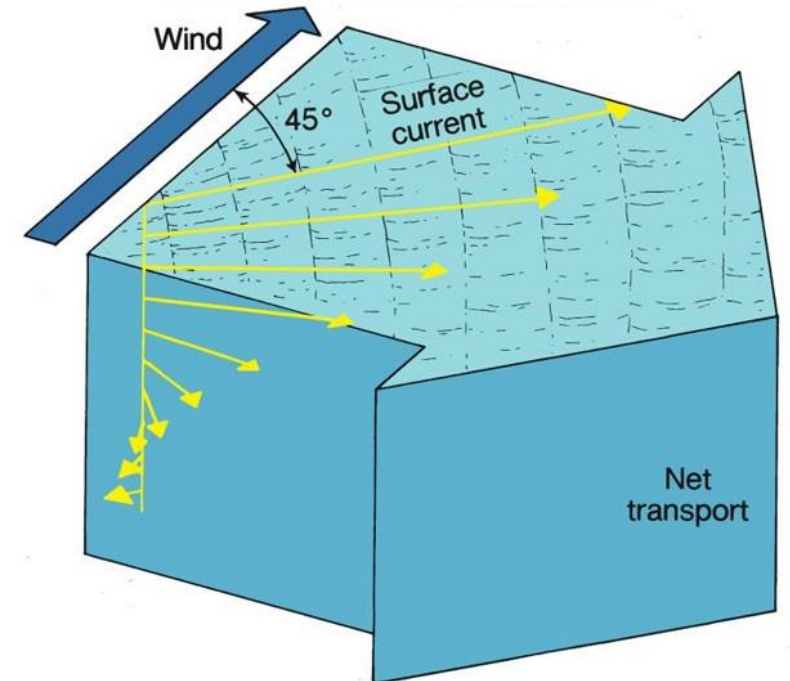
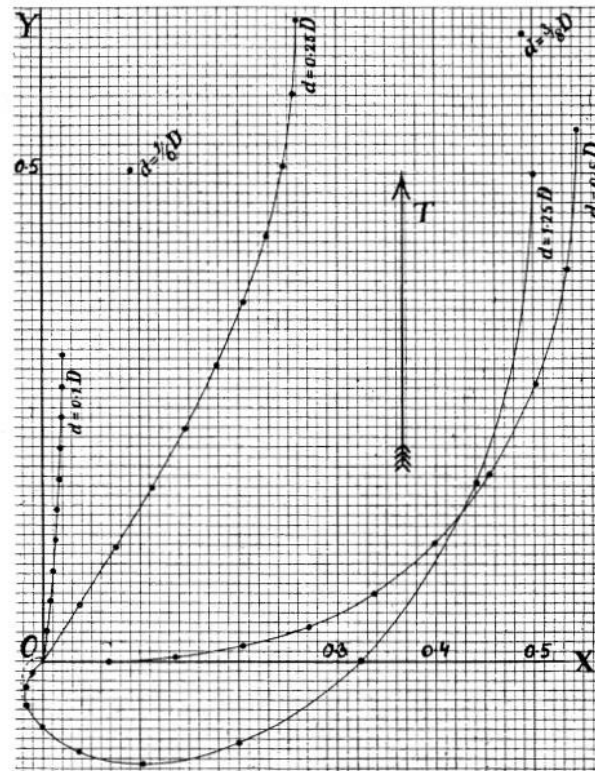
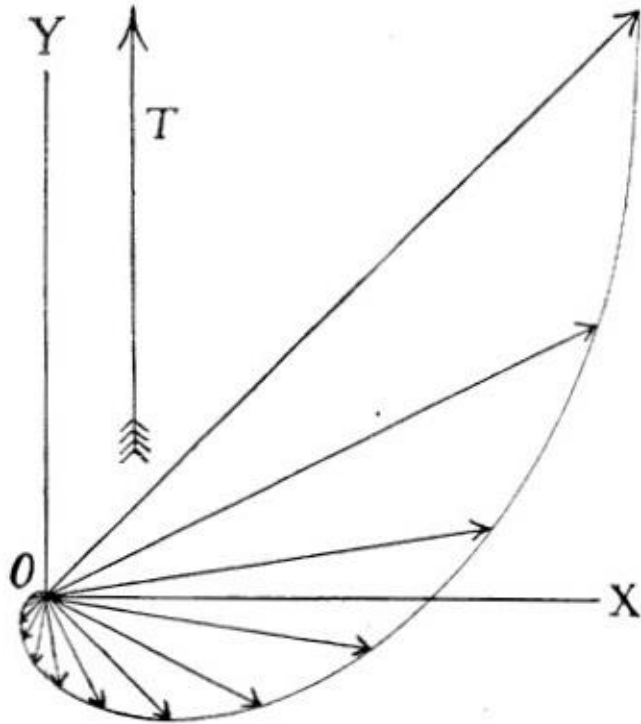
$$D(\text{m}) \approx 9 * W(\text{m/s})$$

$$V(\text{cm/s}) \approx 1.5 * W(\text{m/s}) \quad [1.5\%]$$

Stare staționară

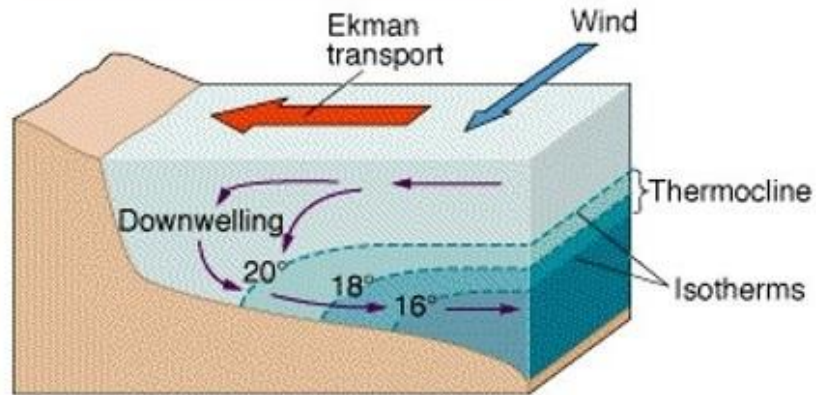
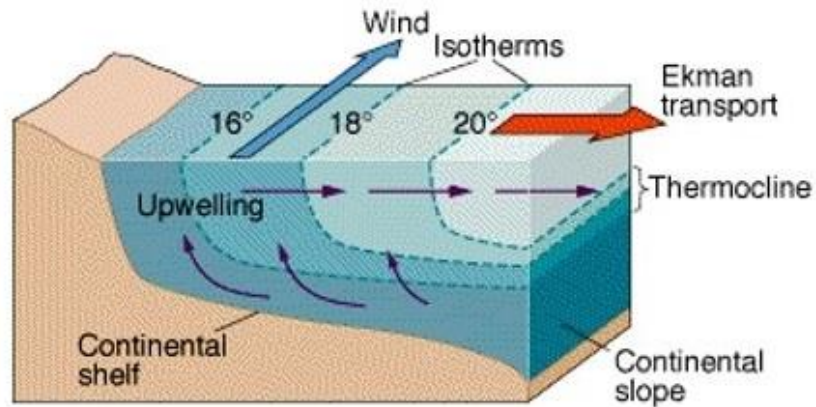
Regim tranzitoriu

Transport total

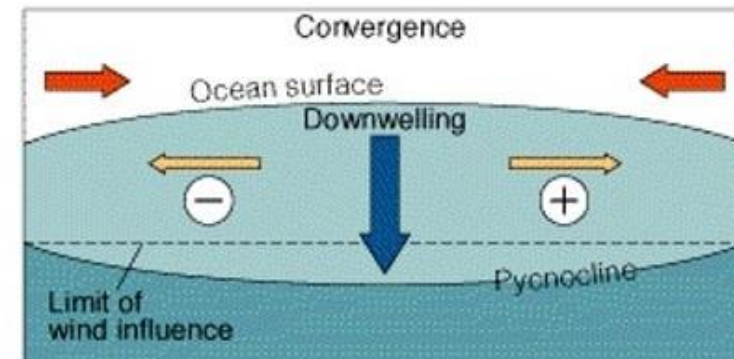
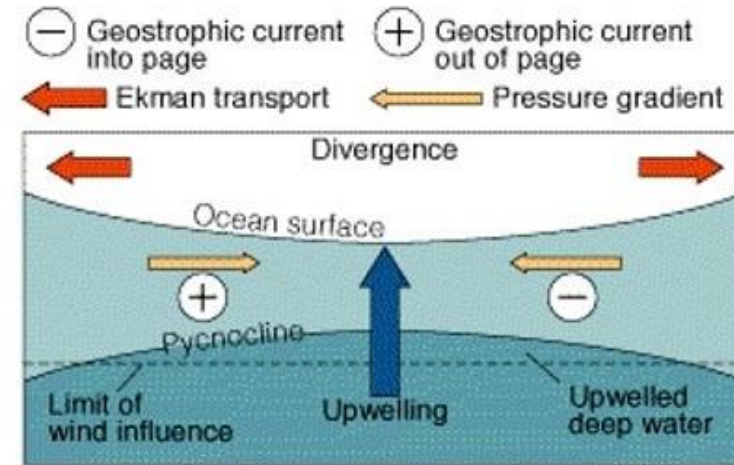


Efecte „Ekman pumping” la țărm și în larg

Upwelling și Downwelling



Water mass movements →



Unde interne – Unde Poincaré

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} - fv &= -g \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + fu &= -g \frac{\partial \eta}{\partial y} \\ \eta &= -h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)\end{aligned}$$

Soluție ondulatorie

(propagare pe Ox)

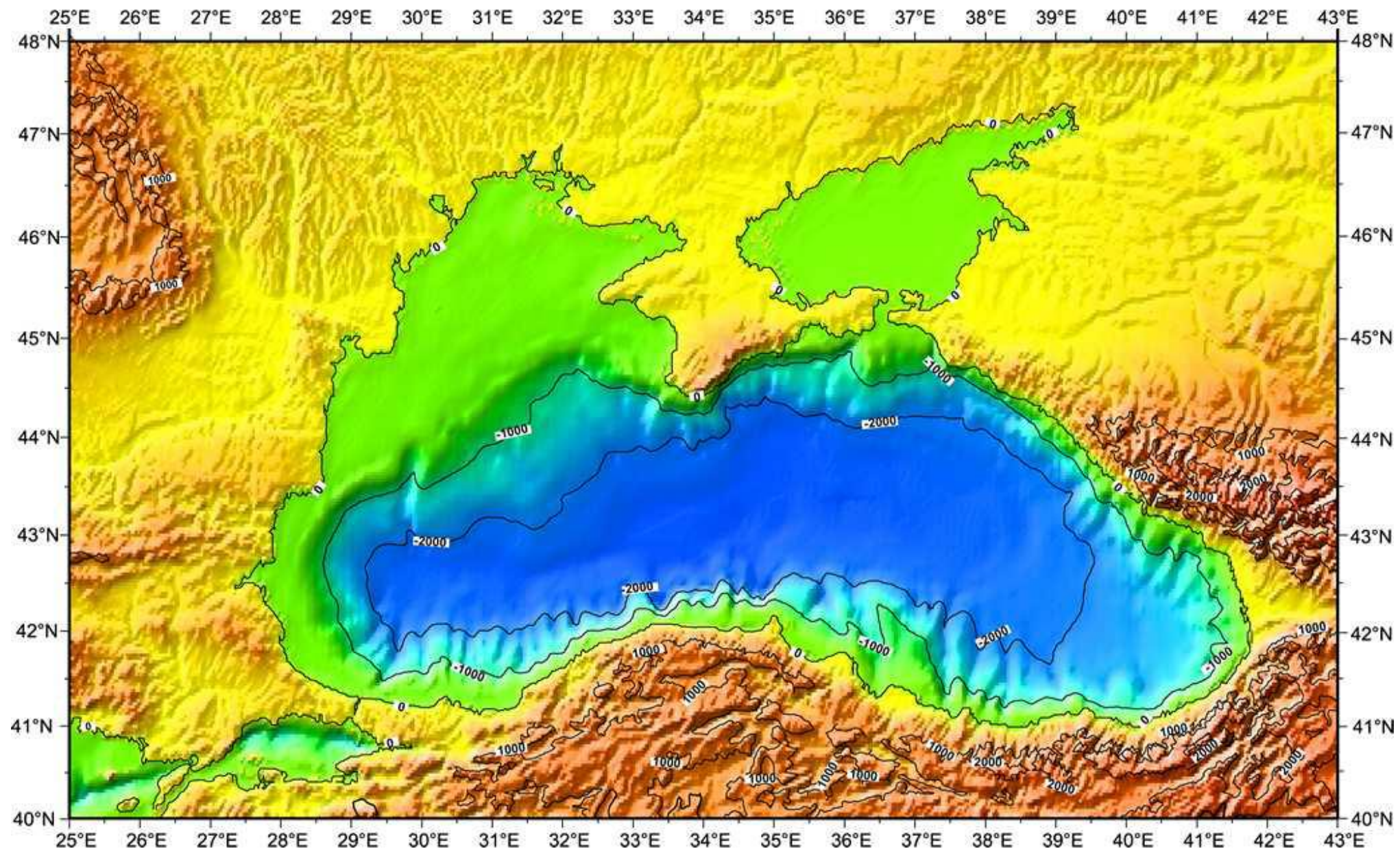
$$u = u_0 * \cos(kx - \omega t)$$

Relația de dispersie

$$\omega^2 = f^2 + ghk^2$$

Fr



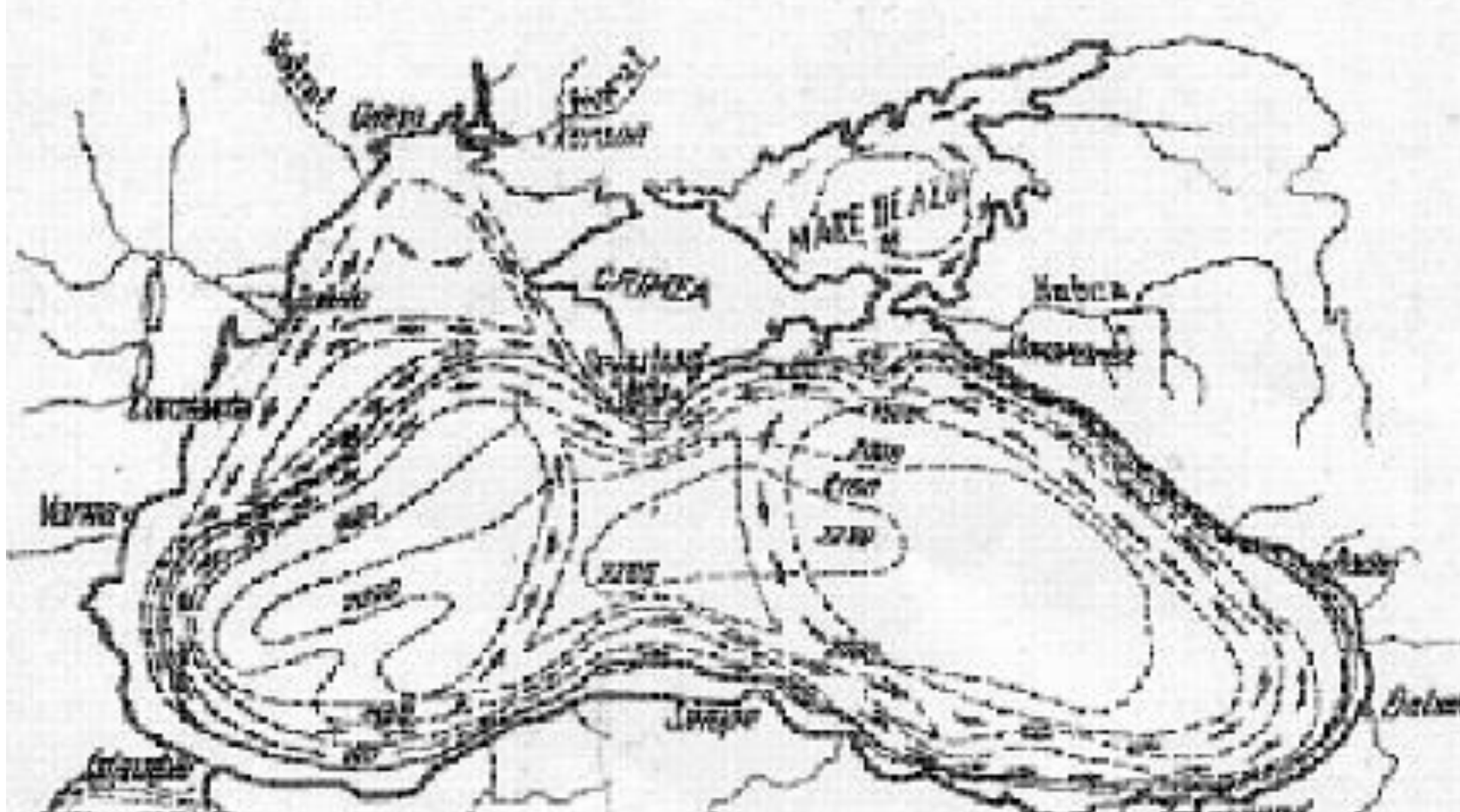


Trăsături specifice (*variabile în timp!*)

- Curentul Principal/Periferic al Mării Negre (**CPMN**), ciclonic, înconjoară întreg bazinul, în apropierea abruptului continental
- Două circuite ciclonice în cele două jumătăți ale bazinului
- Un circuit anticiclonic în partea de sud-est (Batumi)
- Meandre ale CPMN și turbioane anticiclonice între acesta și limita platoului continental (Sevastopol, Kaliakra, Sakarya, Crimeea)
- Mișcări verticale advective (upwelling & downwelling) în zona țărmului și la limita platoului
- Mișcări verticale convective în perioada de răcire (formare **SIR**)

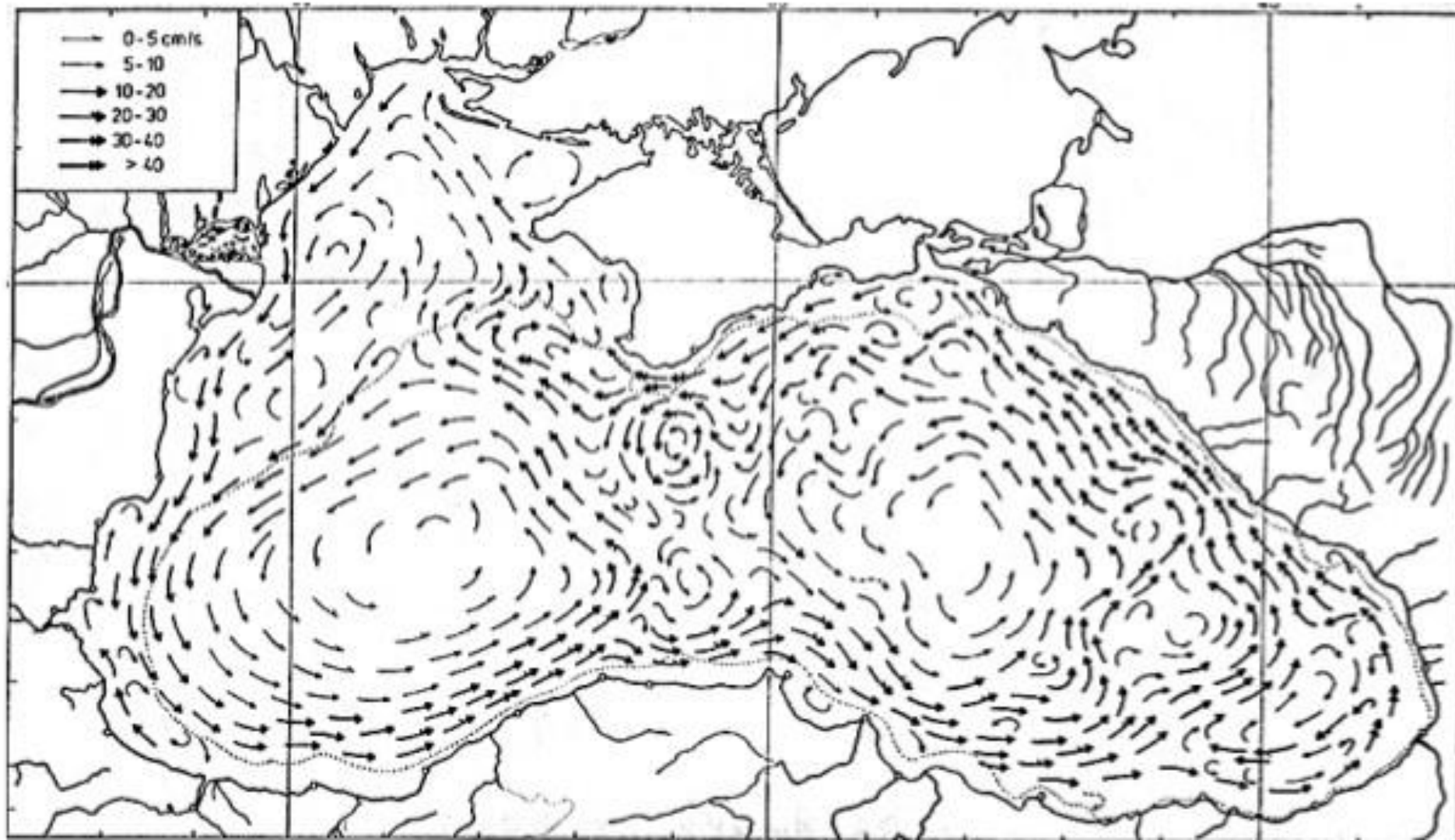
Curenți de suprafață în Marea Neagră

(Knipovich, 1932)



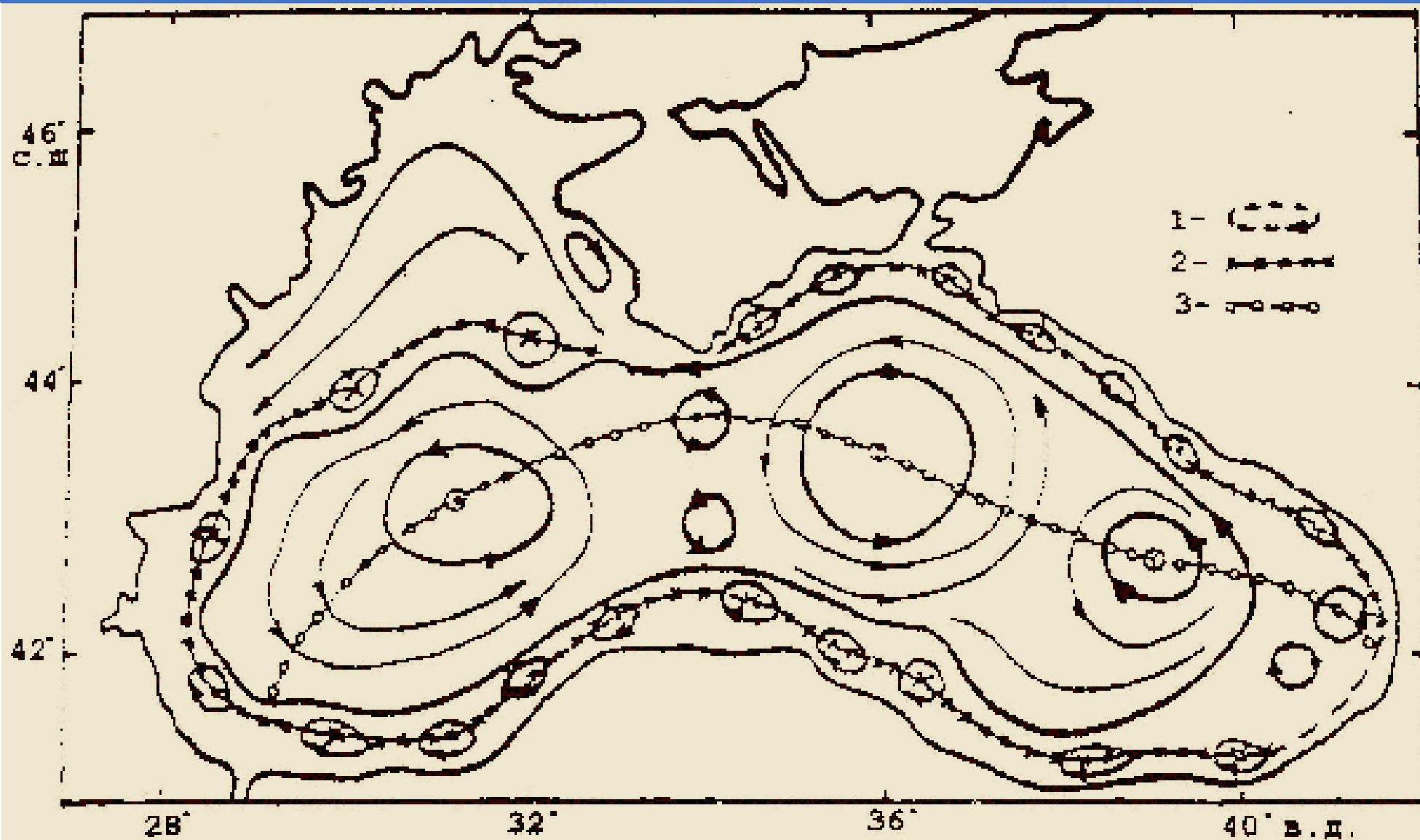
Circulația generală în Marea Neagră

(Neumann, 1944)



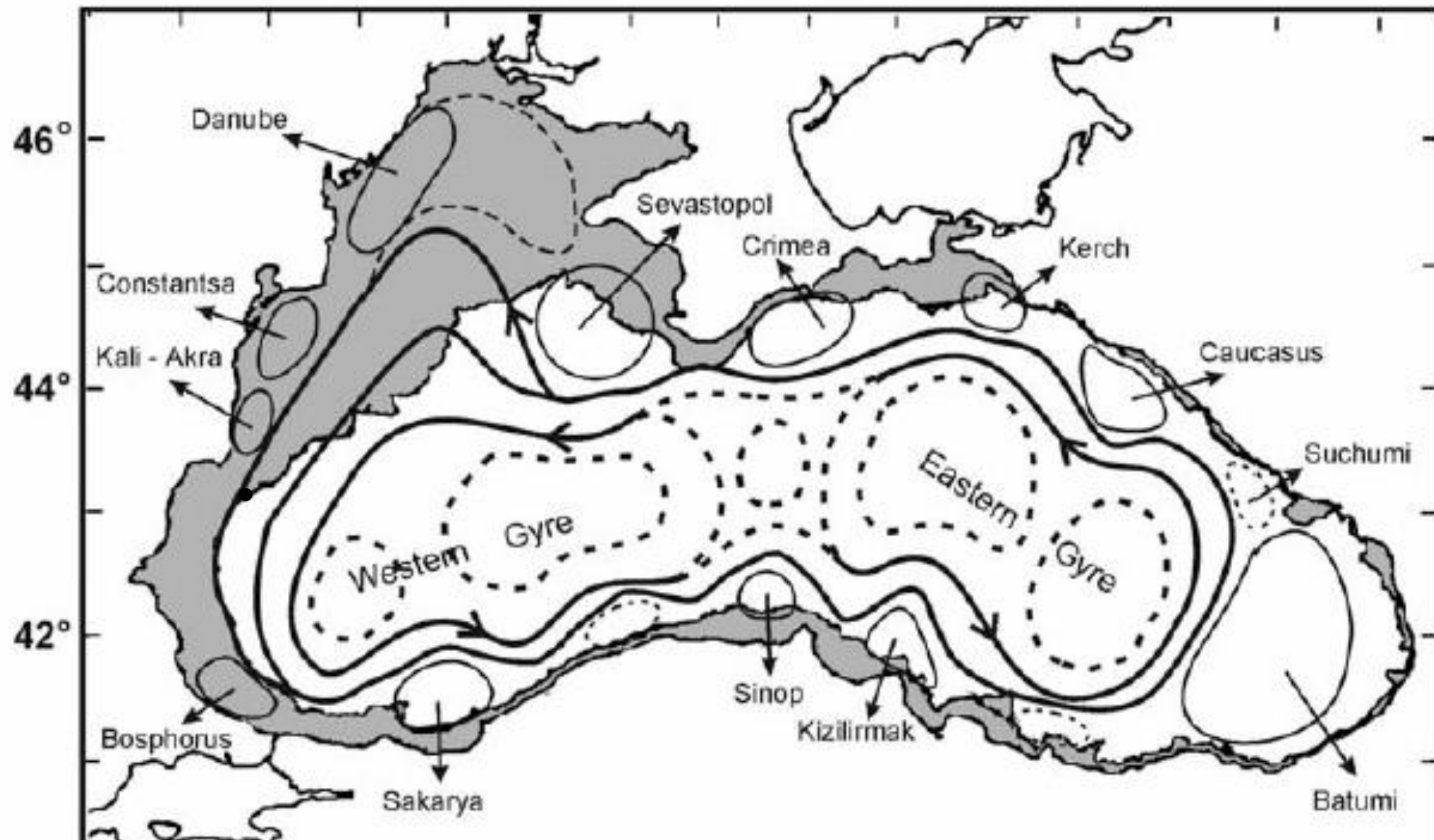
Curenți de suprafață în Marea Neagră

(Ovchinnikov, 1990)

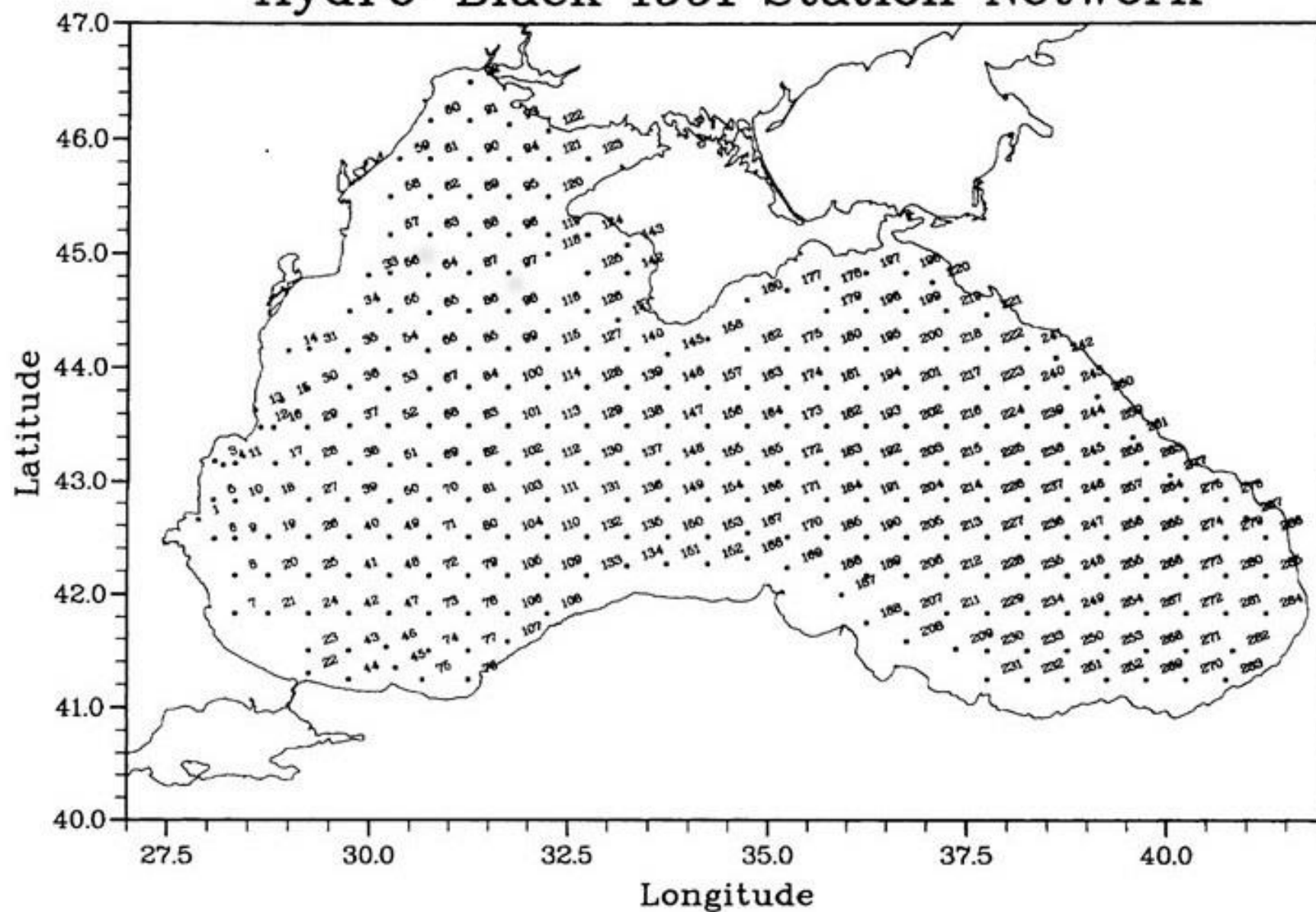


Caracteristici de scară medie

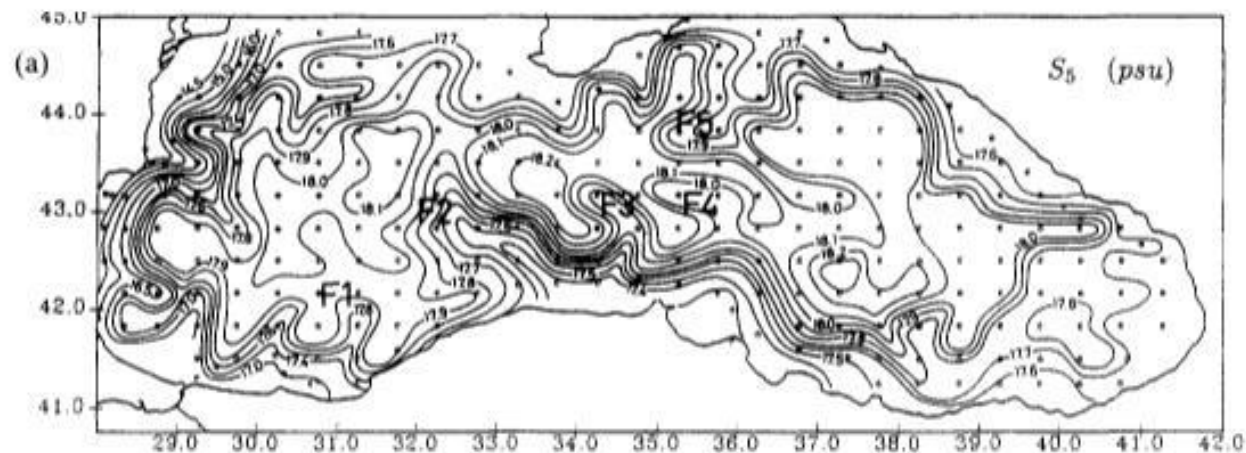
(Korotaev, 2003)



Hydro-Black 1991 Station Network

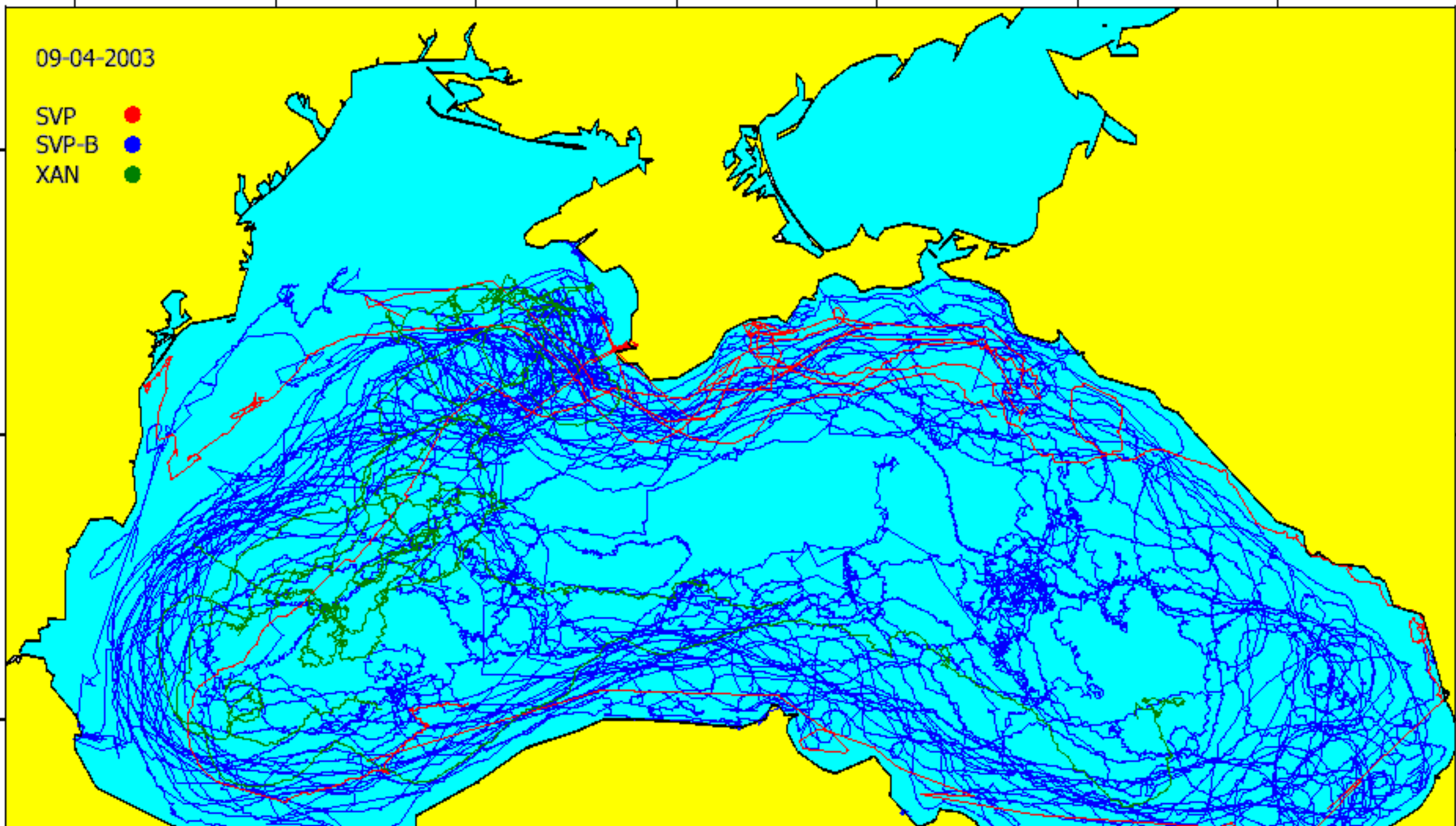


HydroBlack-91: Salinitate și Curenți (5m)



09-04-2003

SVP ●
SVP-B ●
XAN ●



Flota Navelor de Cercetare

Institutul Român de Cercetări Marine



Portul Tomis, 1976

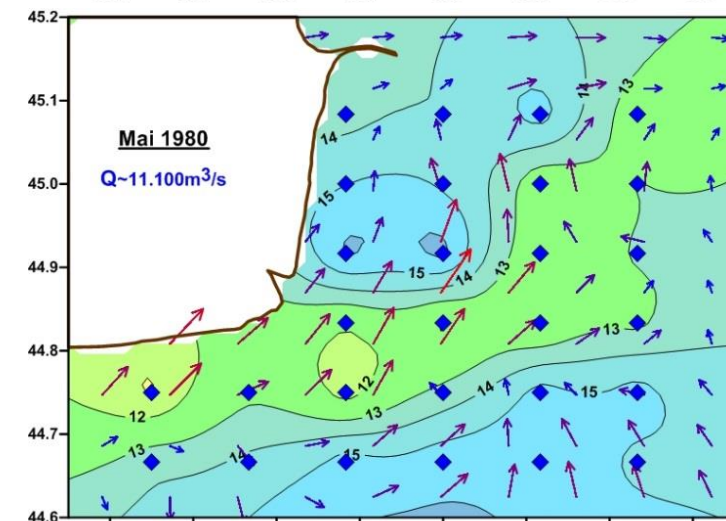
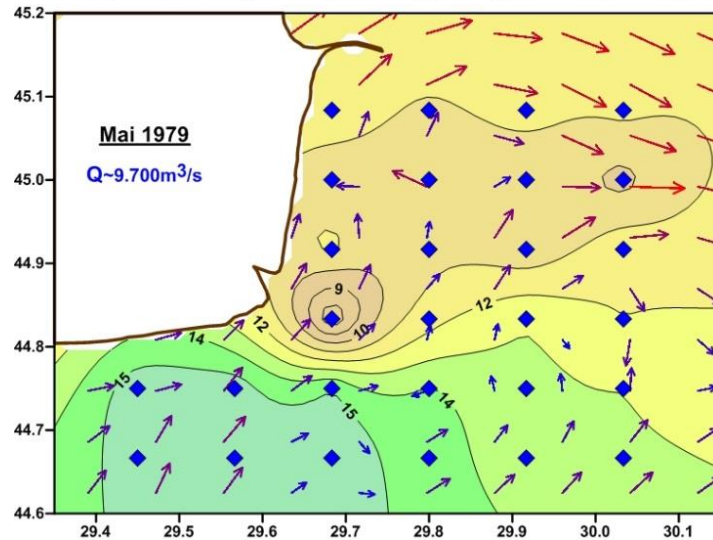
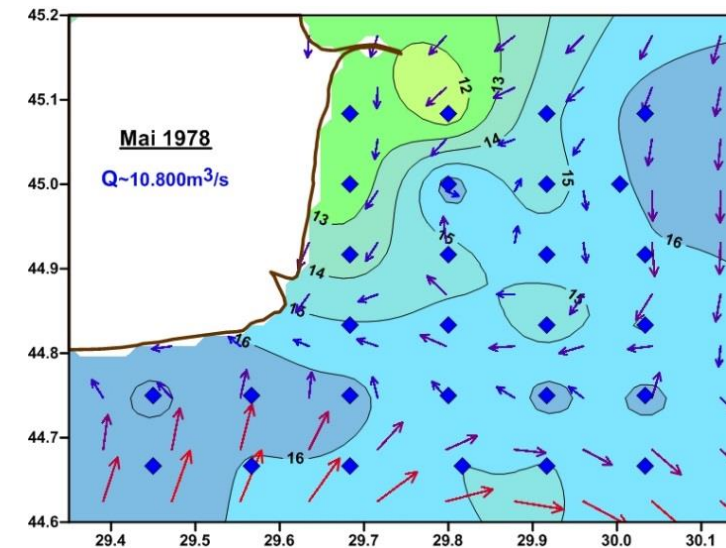
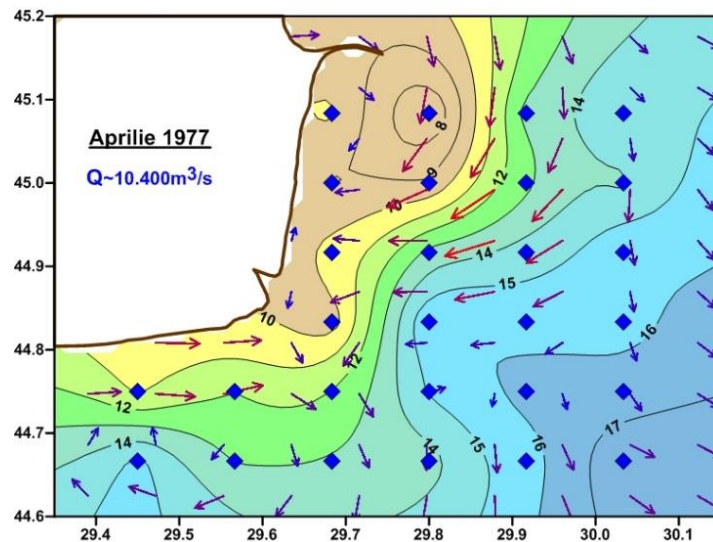
de la dreapta la stânga :

- ☐ **Pălămida**
- ☐ **Marea**
- ☐ **Gilortul**

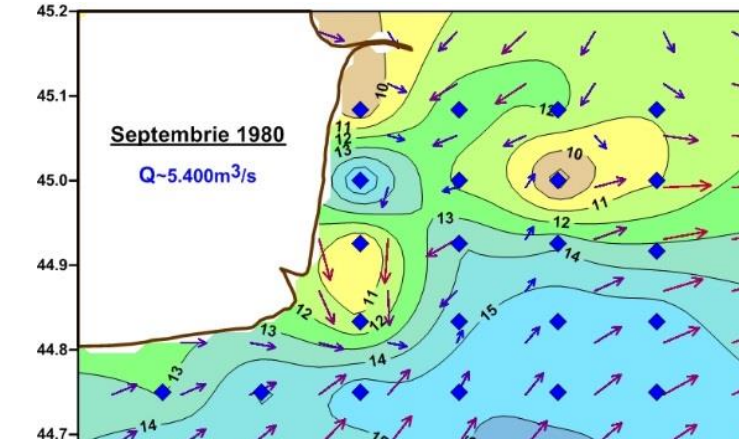
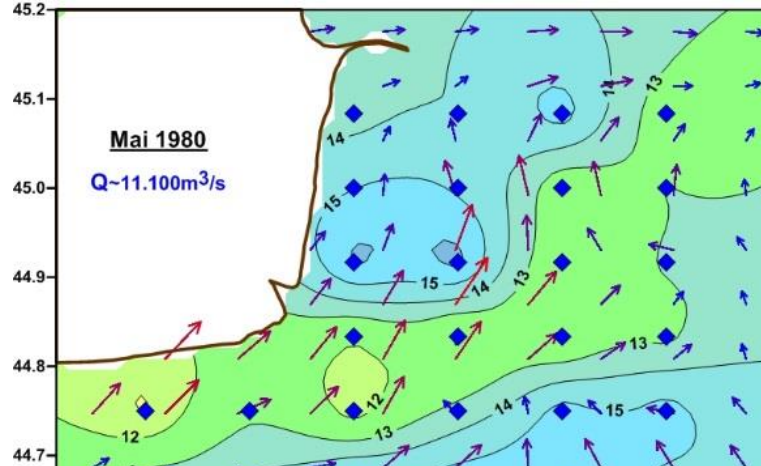
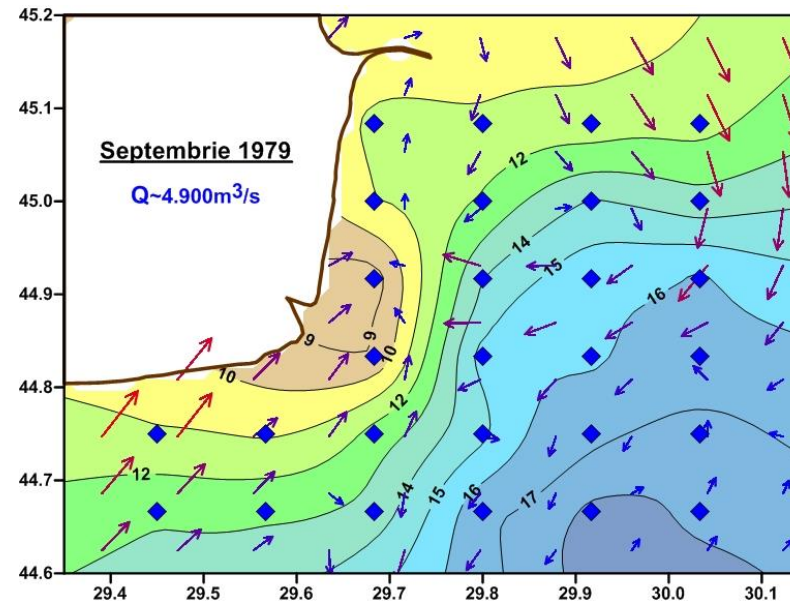
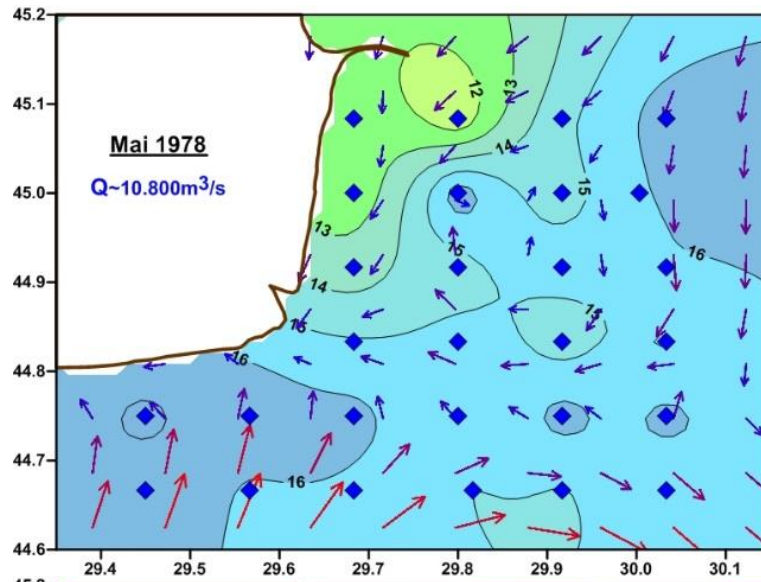
deghizat în Goeleta ***Speranța***
(„Toate Pânzele Sus!”)

Salinitate și curenți la Gurile Dunării

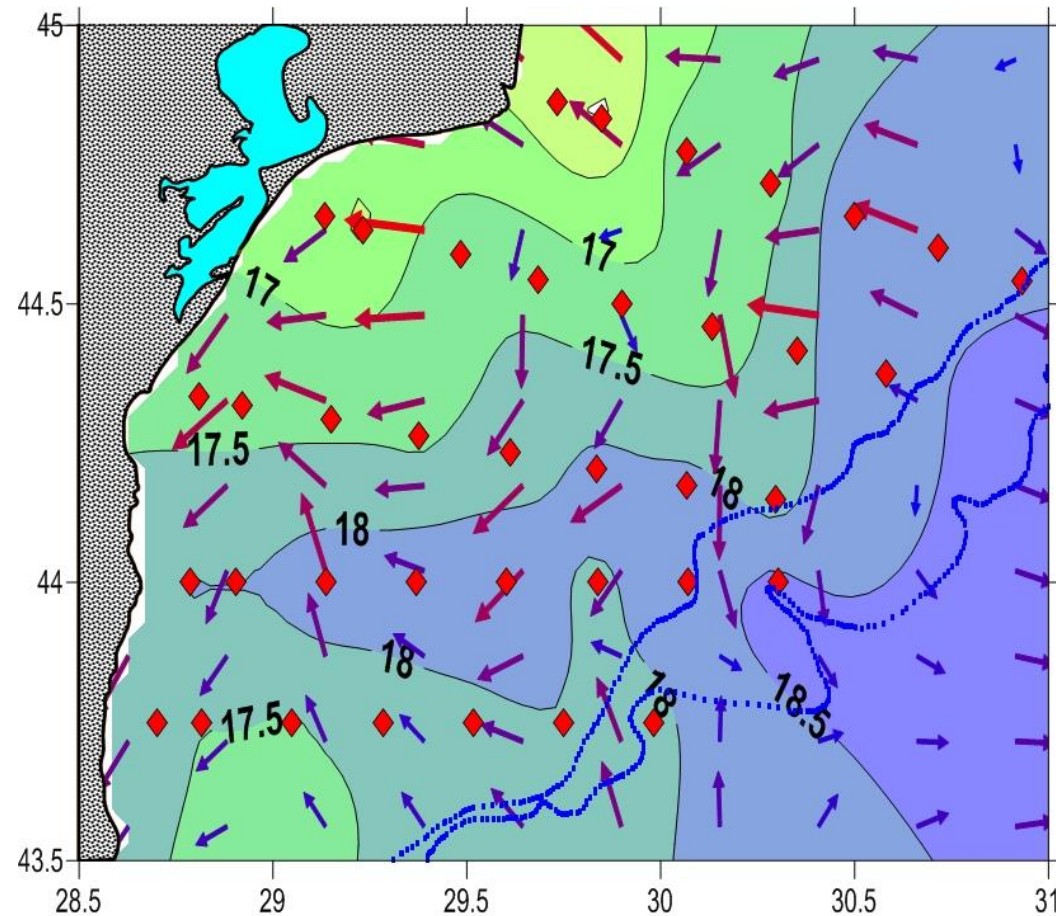
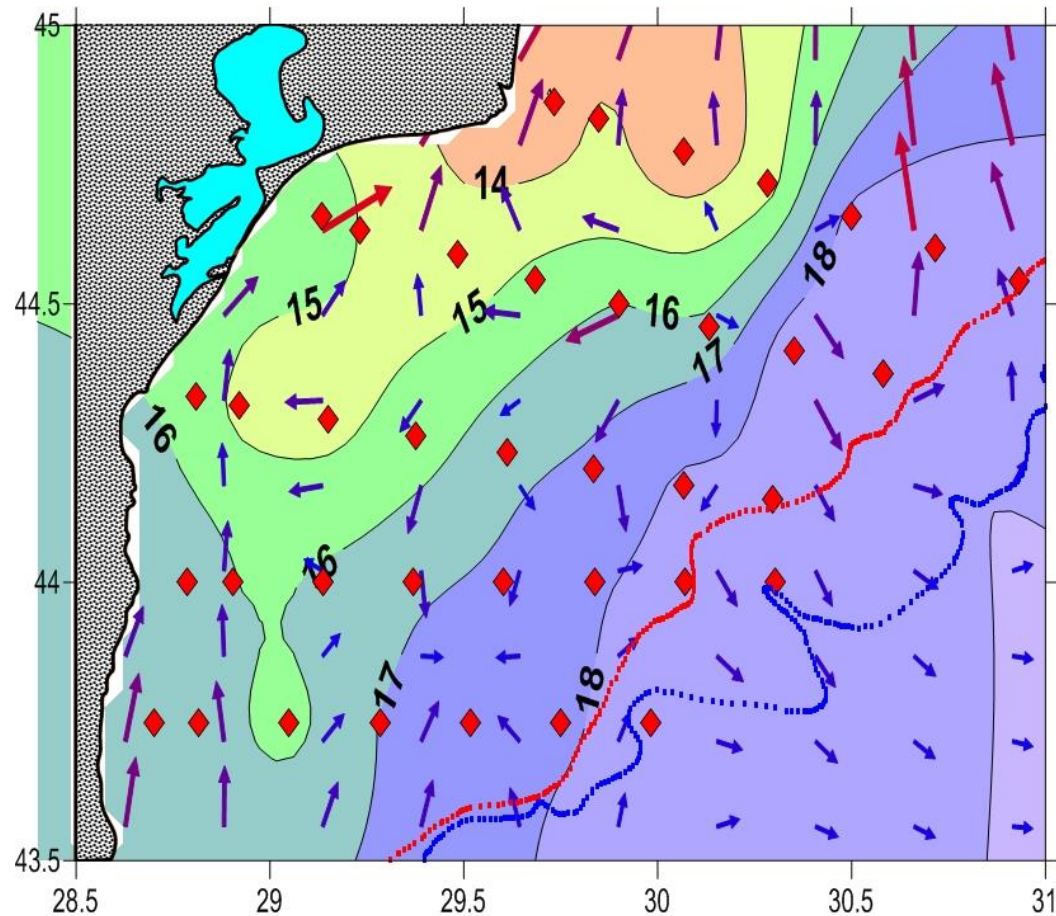
(stratul 0-5m, primăvara)



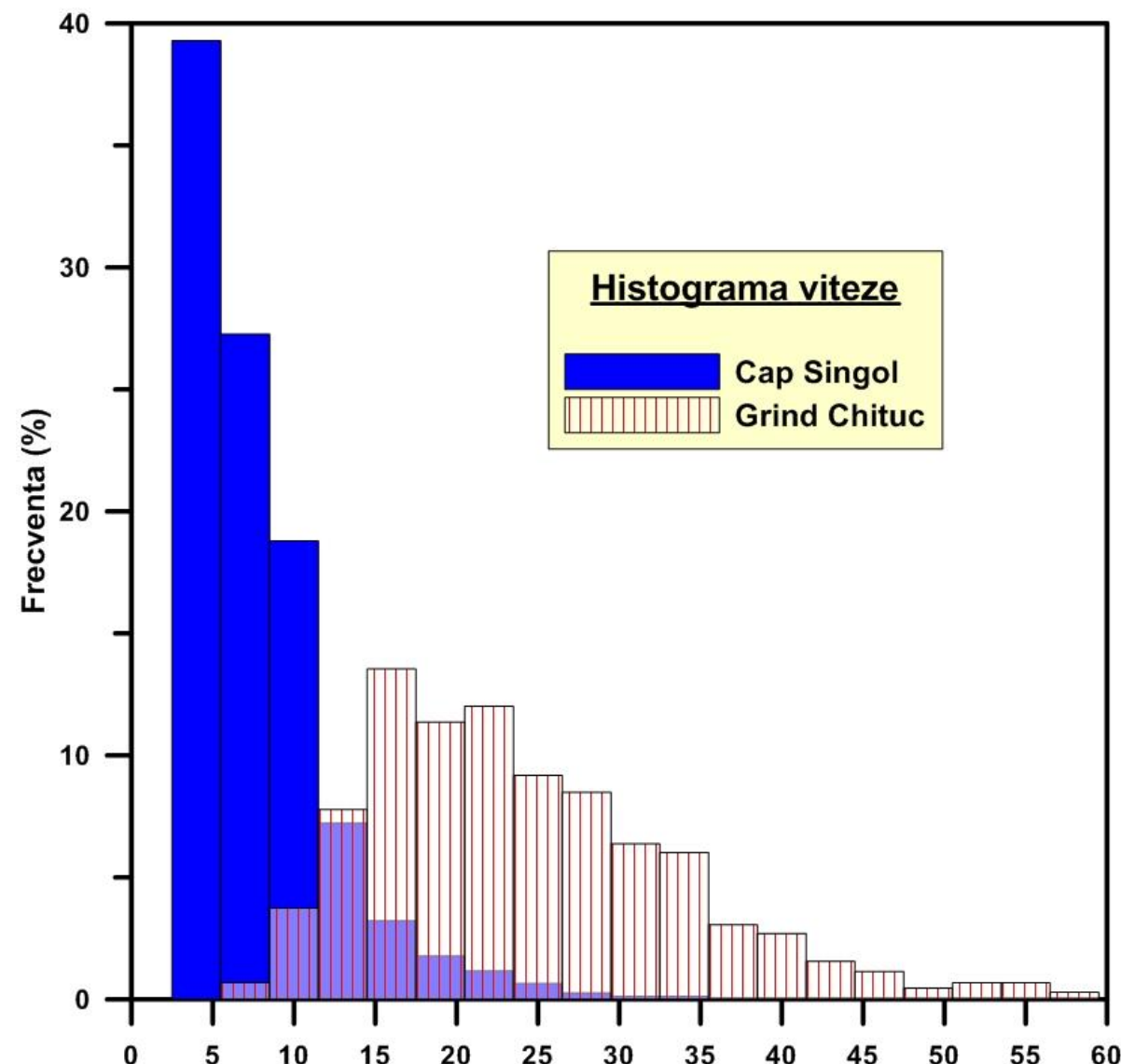
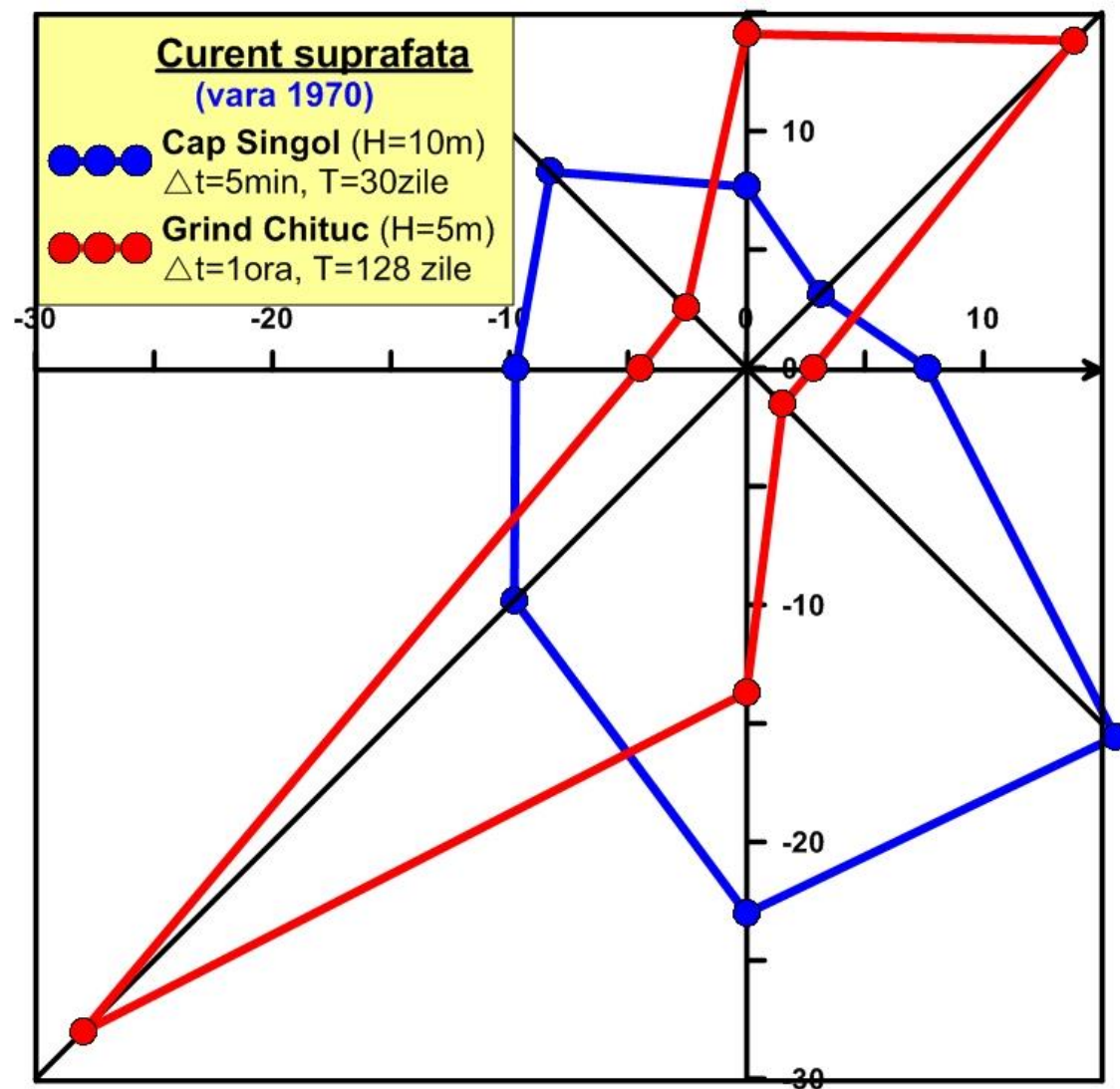
Salinitate și curenți (debite mari – debite mici)



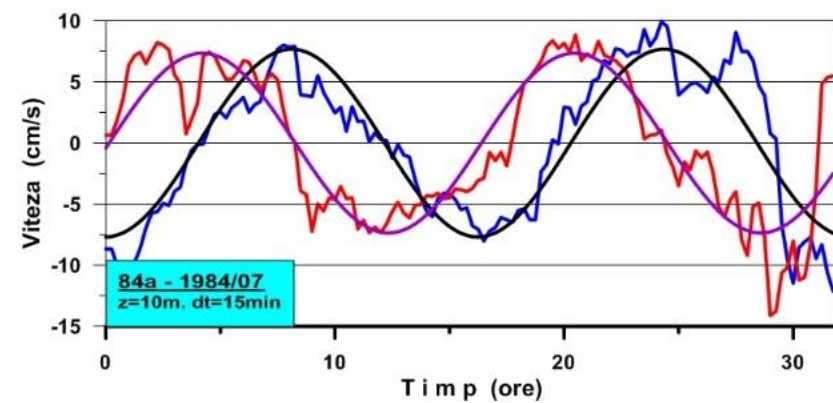
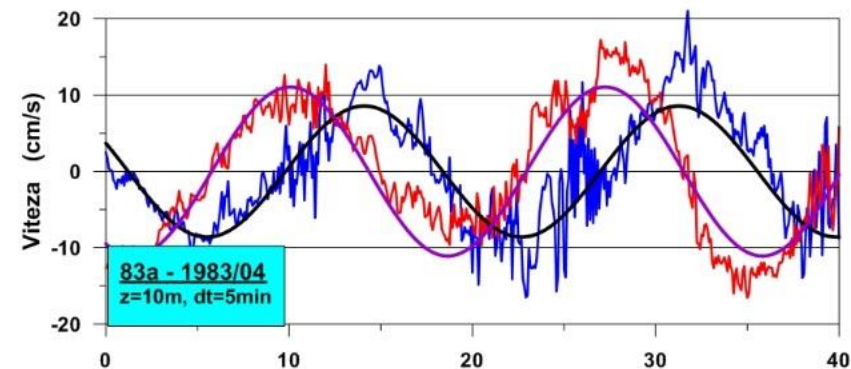
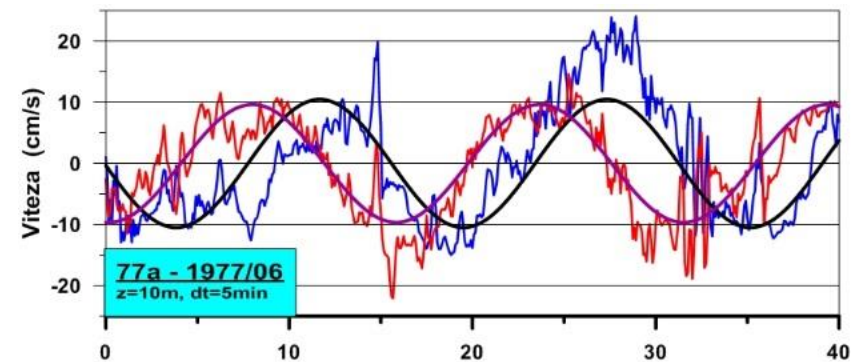
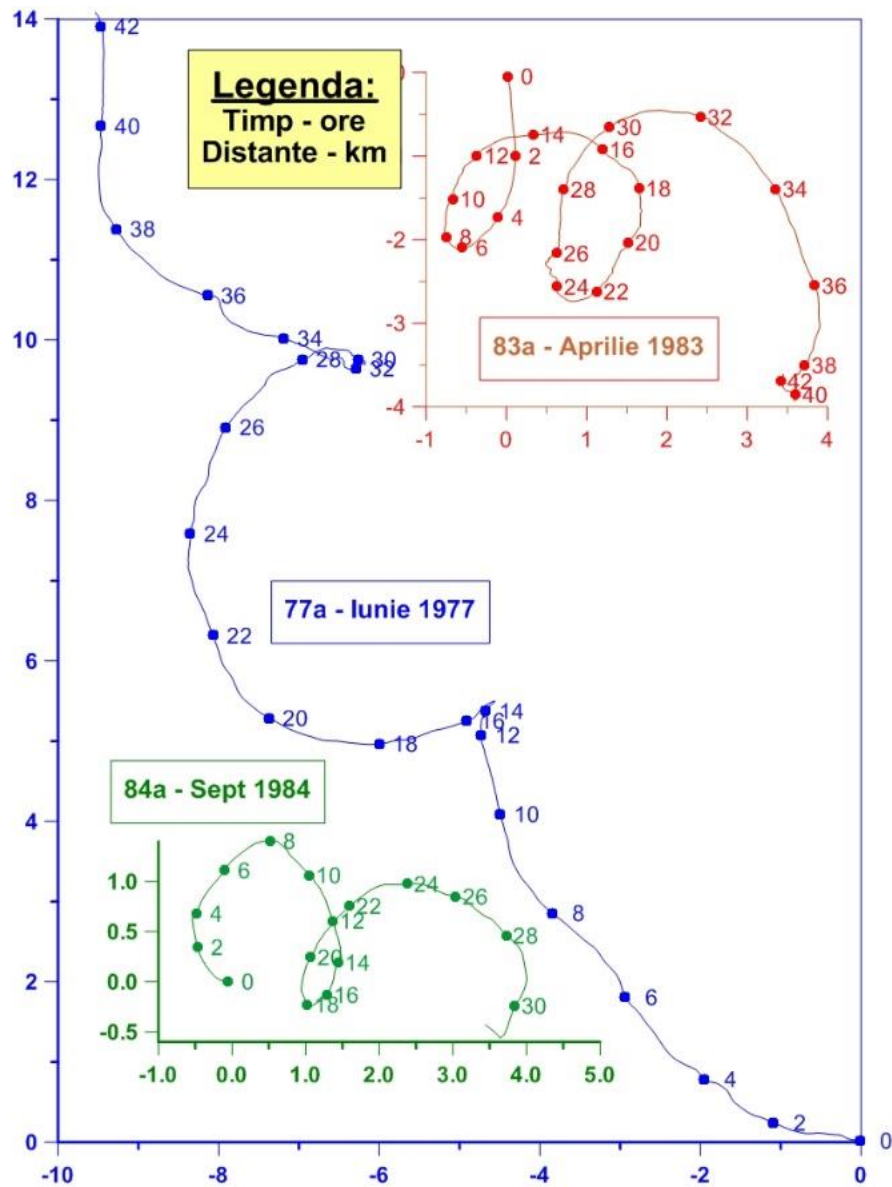
Distribuția salinitității și curenților în stratul superficial (mai 1973 si octombrie 1974)



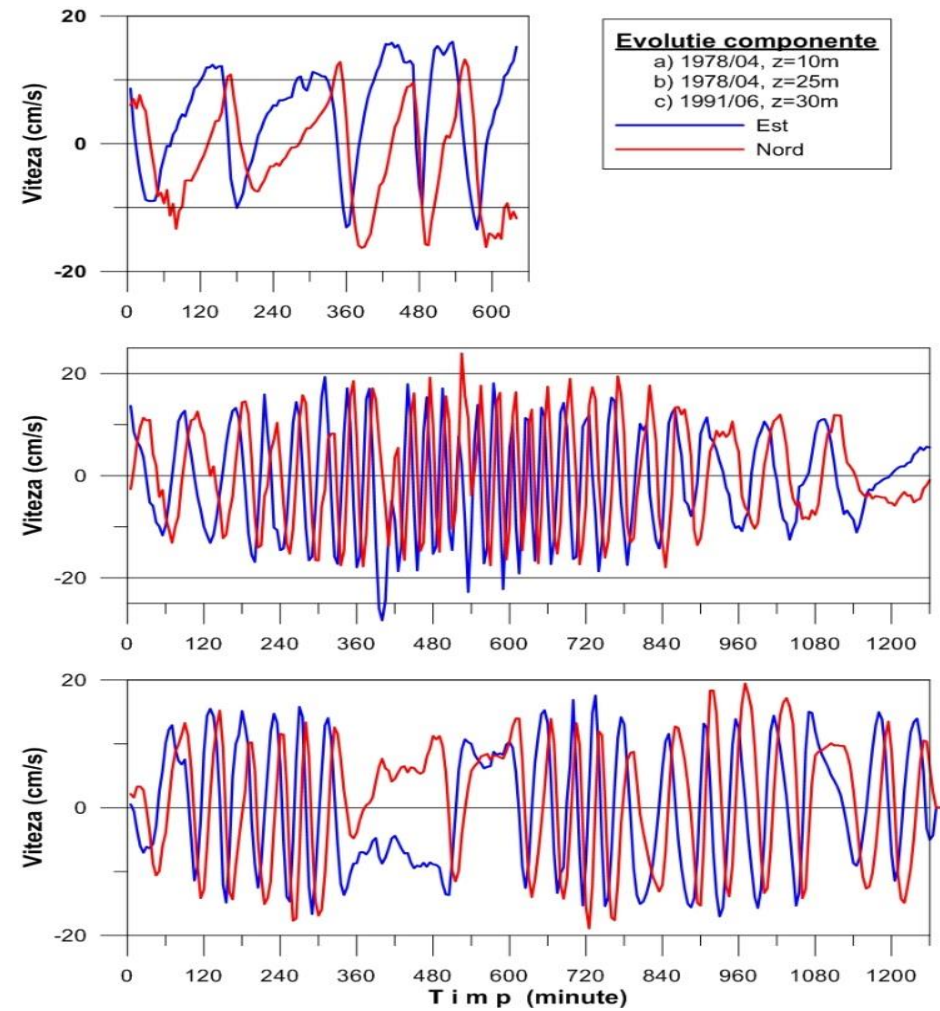
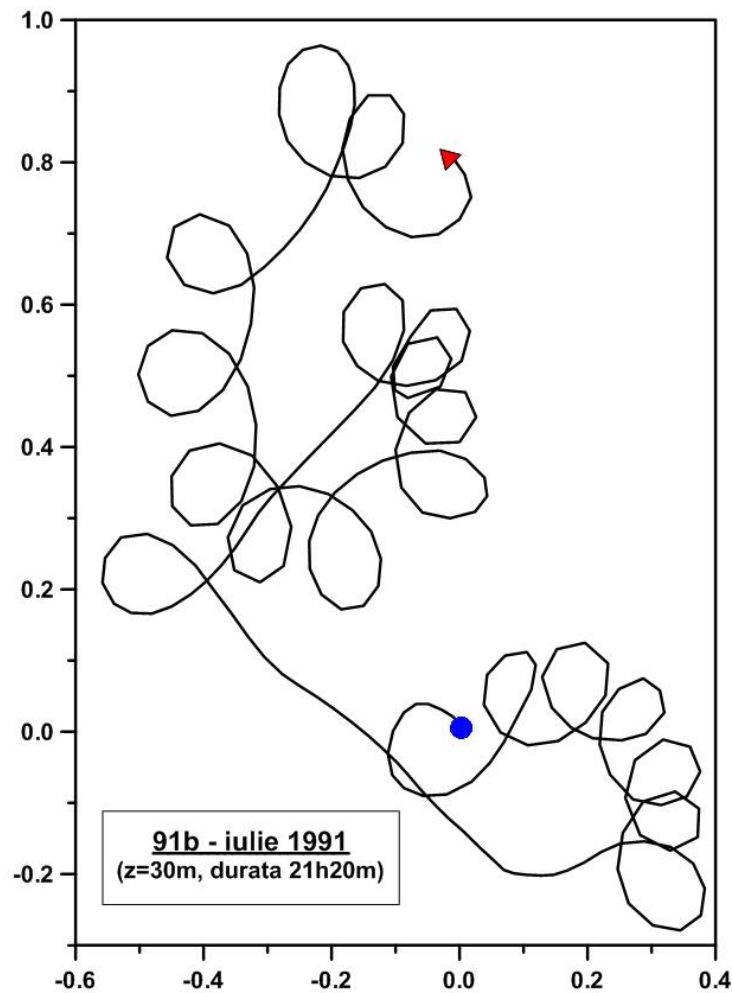
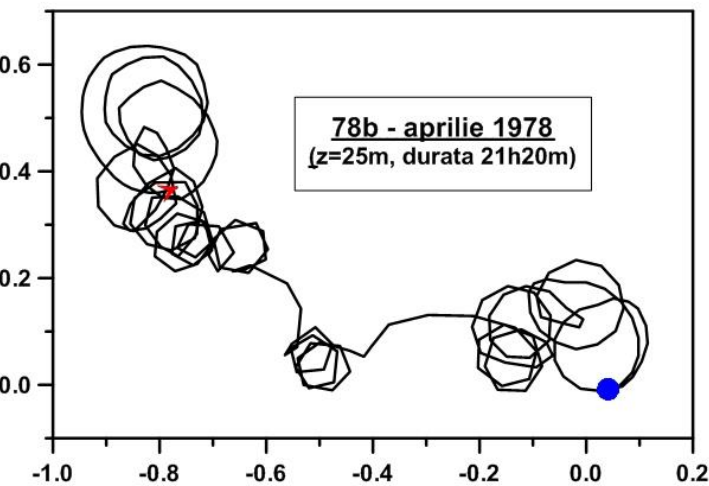
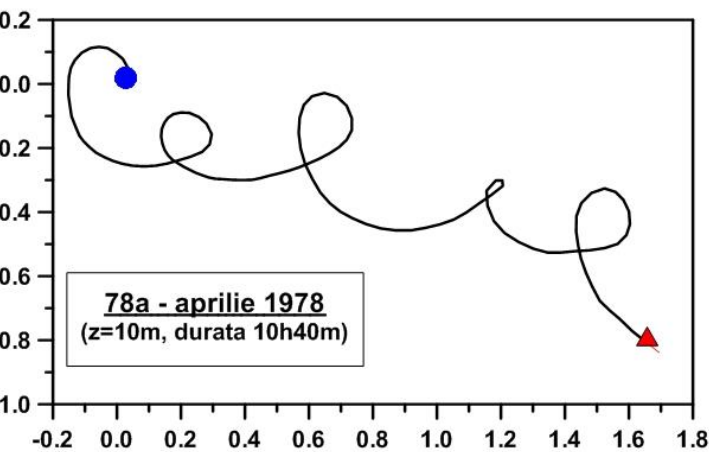
Inregistrări în punct fix



CURENTI INERTIALI



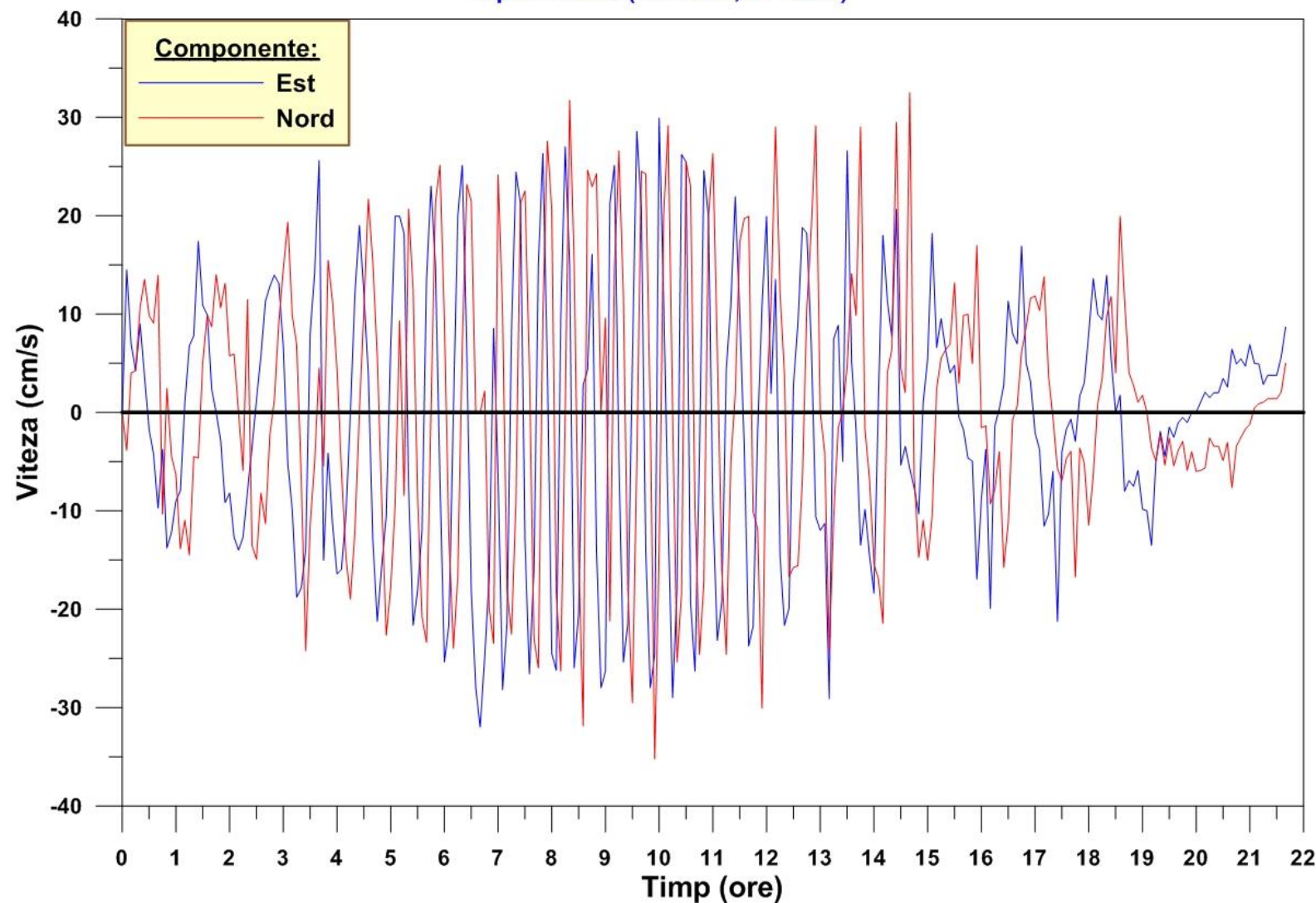
UNDE INTERNE



Interferență – Intermitență

Evolutia Componentelor Vectorului Curent

Aprilie 1978 (H = 52m, z = 25m)



Metode de analiză a datelor

Măsurători Euleriene (Viteză și Direcție)

Rețele de stații oceanografice →

- câmpul curenților la diferite adâncimi
- flux de apă prin secțiuni verticale

Inregistrări în punct fix →

- distribuția pe direcții și clase de viteze
- spectre frecvență-energie

Măsurători Lagrangeene (traectorii flotori derivanți)

CITATE despre ECUAȚII și TURBULENȚĂ

Richard P. FEYNMAN

„Următoarea eră mare de trezire a intelectului uman va putea produce o metodă de înțelegere a **conținutului calitativ al ecuațiilor**.”

Astăzi nu putem vedea că **ecuațiile curgerii apei** conțin astfel de lucruri ca structura de tipul spumei bărbierului, a turbulenței care se vede între cilindrii în rotație.

Azi nu putem vedea dacă ecuația lui Schrodinger conține broaște, compozitori sau moralitate - sau dacă nu conține așa ceva.

Nu putem spune dacă este sau nu necesar ceva dincolo de ea, ceva în genul lui Dumnezeu. Si astfel putem cu toții să susținem cu tărie ambele opinii”.

Lectures on Physics, 1964

Werner Heisenberg a fost întrebat ce ar vrea să afle de la Dumnezeu și a răspuns: „Când o să-l întâlnesc, îi voi pune două întrebări: De ce există **Relativitate**? De ce există **Turbulență**? Cred că El va avea răspuns la prima”.

O afirmație similară îi este atribuită lui Horace Lamb (Hydrodynamics, 1895). „Sunt un om bătrân și, când voi muri și voi merge la Ceruri, există două probleme în care sper să fiu luminat. Una este **Electrodinamica Cuantică** si a doua este **mișcarea turbulentă a fluidelor**. Pentru prima, sunt destul de optimist”.

Akira OKUBO

„Închei acest capitol spunând **DIFUZIA este CONFUZIE** si nimeni, în afara **drăcușorului lui Maxwell**, nu știe ce se întâmplă”.

Turbulence in the Ocean, 1980

παντα ρει

Heraclit din Efes