

INFORMAȚII HIDROLOGICE PRIVIND FENOMENUL DE TSUNAMI ÎN MAREA NEAGRĂ INCLUSIV PE COASTA ROMÂNIEI

Bondar C.¹

¹INCĐ GEOECOMAR, Str. D. Onciul, nr. 23-25, 024053 București, Sect. 2
cbondar@geoecomar.ro

Abstract. Sunt prezentate informații din literatură privind fenomenul tsunami în Marea Neagră, inclusiv de pe coasta românească a Mării Negre, precum și unele aspecte teoretice ale fenomenului hidrologic. Din literatura de specialitate rezultă că majoritatea țărilor riverane Mării Negre dețin observații asupra hazardului natural de tip tsunami. Înălțimea maximă a valurilor observate a fost apreciată la 5 m pe coasta caucaziană a bazinului. Pe baza observațiilor cutremurelor generatoare de tsunami s-a determinat legatura corelativă dintre înălțimea valurilor tsunami și magnitudinea cutremurelor. Elaborarea măsurilor de preîntâmpinare a distrugerilor provocate în lungul coastelor de valurile tsunami presupune cercetări aprofundate de cunoaștere a fenomenului.

Cuvinte cheie: oscilații de nivel, hidrologie, valuri, tsunami, cutremure, magnitudine.

1. Informații din literatură privind Marea Neagră

Rezultatele cercetărilor oceanografice precum și măsurătorile hidrologice asupra variației nivelului Mării Negre au generat interpretări contradictorii cu privire la undele de tip tsunami. Pentru înțelegerea acestor interpretări vor fi enumerate o serie de opinii ale unor cercetători ruși, turci și englezi, extrase din literatura de specialitate, după care vor fi prezentate rezultatele cercetărilor românești referitoare la tema analizată.

1.1. În tratatul său de oceanografie fizică (*Fizichescaia okeanografia*, 1966), Egorov precizează că oscilațiile de nivel ale suprafeței mării sunt produse de vânturi, de atracția universală, de variația presiunii atmosferice și de seisme (cutremure).

Producerea valurilor se datorează mișcărilor bruște ale fundului mării, atât pe verticală cât și pe orizontală, sub acțiunea cutremurelor sau erupțiilor vulcanice. În plus, la erupțiile vulcanice submarine un mare pericol îl constituie gazele care strabat coloana de apă și erup în atmosferă.

Prin mișcarea bruscă a fundului mării se creează la suprafața acesteia o denivelare a oglinzii apei. Ca urmare a impulsului vertical de scurtă durată, denivelarea se propagă rapid pe suprafața apei sub forma unor valuri individuale (solitare) concentrice. Viteza de propagare a undelor este exprimată de relația:

$$C = (g \cdot h)^{0.5} \quad (1)$$

în care g este accelerația gravitațională ($9,81 \text{ m/s}^2$), iar h adâncimea apei (m).

Amplitudinea valurilor generate de cutremure este dependentă de magnitudinea acestora și de adâncimea apei.

În afara valurilor solitare, cutremurele pot genera și oscilații ritmice ale nivelului mării, cauza fiind mișcarea fundului bazinului marin. Perioada acestor oscilații poate varia între 15 și 60 de minute.

1.2. În monografia Mării Negre prezentată de Leonov A.K în lucrarea Oceanografia regională (*Regionalnaia okeanografia*, 1960), se descriu pe larg oscilațiile de nivel ale mării datorate seishelor. Autorul consideră că seisele reprezintă cea mai răspândită formă de oscilație a nivelului Mării Negre, fără însă a cunoaște în totalitate cauzele formării acestora. În multe băi și golfuri se observă oscilații datorate seishelor. Perioadele și amplitudinile lor depind de condițiile fizico-geografice ale zonei, în particular de adâncimea apei, caracterul reliefului submers și configurația liniei de țărm.

Leonov împarte seisele în două grupe: de golfuri și zonale. Primele se formează și se propagă în băi și golfuri. Celelalte, de tip zonal, cuprind zone mari sau suprafața mării în întregime. Seisele de golfuri produc denivelări și oscilații ale nivelului mării cu caracter sezonier, apar brusc și se amortizează foarte repede, sau persistă câteva ore.

Perioadele seishelor pot varia de la 2-3 minute până la 15-20 minute. În alte cazuri, seishelor cu perioade scurte li se adaugă seise cu perioade de 50-60 minute sau de 2, 3 până la 12 ore. Amplitudinile seishelor nu sunt aceleași: la seise cu perioade scurte amplitudinile pot fi de circa 2-5 cm, la seise cu perioade mai mari de circa 15-20 cm și la cele cu perioadele cele mai mari pot atinge 50-60 cm. Cel mai adesea se observă seise cu perioade mici care, obisnuit, apar pe mare neliniștită.

Cazul apariției bruște a seishelor cu perioadă mică, în condiții de vreme liniștită, cu micșorarea treptată sau rapidă a amplitudinii, sunt rare. Ele se datoresc schimbării bruște a direcției și creșterii vitezei vântului.

Seisele cu perioadele cele mai mari (până la 15-20 minute), având amplitudinea aproape de limitele oscilațiilor anuale ale nivelului mării, ca și seisele cu perioadă mică, apar brusc și se amortizează rapid. Seisele de acest gen, așa cum arată analiza condițiilor sinoptice care le însoțesc, apar la oscilații bruște ale presiunii atmosferice, a forței și direcției vânturilor. Adesea seisele cu perioade și amplitudini relativ mari apar la trecerea cicloanelor.

Seisele cu perioade mici au o valoare locală îngustă și este puțin probabil să depășească limitele golfurilor și băilor. Seisele cu perioada apropiată de o oră sunt rezultatul valurilor transversale. Seisele cu cele mai mari perioade sunt generate de valurile de lungă durată (Fig.1).

Așa cum rezultă din Fig. 2 la Poti (Georgia), Odessa (Ucraina) și Tuapse (Rusia) oscilațiile nivelului mării au un caracter opus, cu perioade de aproape 12,5-13 ore și amplitudini de ordinul 7-12 cm. Când la Poti nivelul este maxim, la Odessa acesta este minim. În același timp, la Feodosia și Novorosiisk (Rusia) aceste oscilații se sting.

Frecvența seishelor nu este aceeași în timpul anului. Seisele cu amplitudini mai mici de 5 cm sunt zilnice. Frecvența seishelor cu amplitudini între 5 și 15 cm iarna se formează de până la 15-23 ori pe lună calendaristică, media anuală fiind de aproape 200. Seisele cu amplitudini mai mari de 15 cm au fost observate de 1-3 ori pe lună și, în medie de 20-25 pe an. Seisele zonale sunt fenomen constant, ceea ce sugerează legătura lor directă cu marea.

Fig. 1 Seishe cu perioadă mare (ore), formate în Marea Neagră și oscilații mareice de nivel (în cm)

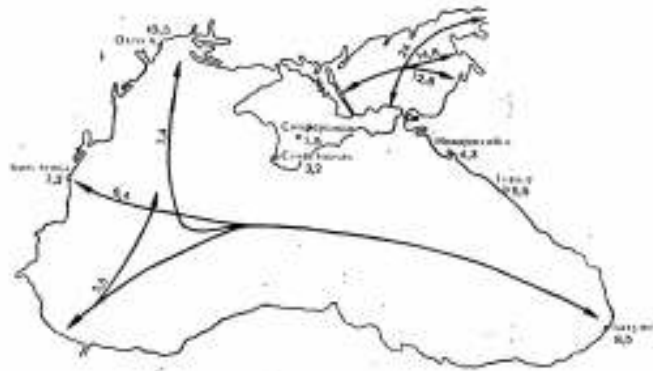
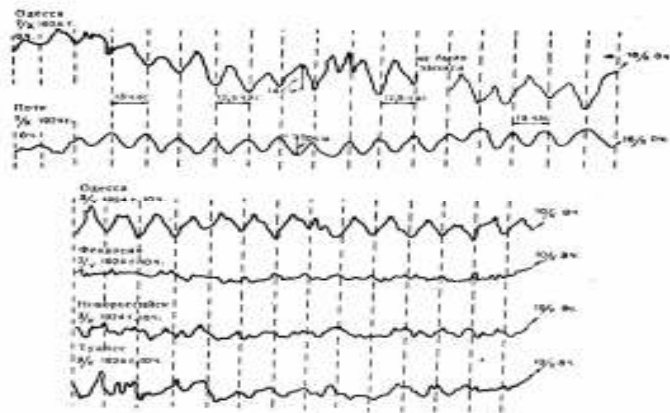


Fig. 2 Oscilații de nivel provocate de maree în părțile de vest și de est ale Mării Negre



1.3. Shuleikin V.V. în tratatul “Curs scurt de fizica mării” (*Kratkii kurs fiziki morea*, 1959) pune pe seama undelor de maree formarea seishelor. Explicația constă în faptul că, apropiindu-se de coastă marea se reflectă și, prin interferența cu undele incidente formează valuri staționare numite “seishe”.

1.4. Bowden K.F. în lucrarea sa “Physical Oceanography of Coastal Water” (1983), pe baza aceleiași explicații (Shuleikin, 1953), susține că undele de mare care ating oblic coasta se reflectă sub același unghi față de normala la coastă și, prin refracție se apropie din nou formând o succesiune de unde numite “unde de shelf”.

1.5. Altinok Y. în articolul “Tsunami along the Coasts of the Black Sea” (1999) prezintă într-o formă mai explicită, și cu exemple, problema hazardului natural de tip tsunami în Marea Neagră. Autorul remarcă faptul că primele documente istorice referitoare la Marea Neagră consemnează un tsunami produs în secolul I BC. Cronicarul armean Mowes Khorenatsi (410-491 AD) a menționat o inundație bruscă a sudului litoralului Mării Negre. Cronicarul bizantin Theophanes (760-818 AD) menționează că “În acest an (544/545) marea a înaintat pe terasă patru mile (6 km) și a acoperit teritoriile ale Odessei și Dionysopolis și, de asemenea, la Aphrodisium. Multe au fost înecate de ape. La porunca lui Dumnezeu marea s-a retras...pe locul ei.” (Guidoboni et al., 1994).

Referitor la distribuția geografică a tsunamilor Mării Negre, autorii au constatat că cele mai multe evenimente s-au produs în zona peninsulei Crimeea. Primele referiri de tsunami produse în această zonă datează din II AD (103). În timpul fenomenelor produse în lungul băii Sevastopol, marea s-a retras cu 0,5 km și apoi a revenit. Pentru sec. XX este citat un tsunami declanșat de cutremurul produs pe 11 septembrie 1927 ($M = 6.8 \pm 0.1$), acesta afectând sudul peninsulei Crimeea.

De asemenea, autorii exemplifică prezența valurilor tsunami în partea de est a Mării Negre. Un prim eveniment este datat 20 AD \pm 20. Tsunami-ul este asociat unui cutremur cu $M > 6.5$ care a afectat golful Sukhumi, nivelul mării crescând cu mai mult de 2.5 m. Valuri tsunami, datorate cutremurului produs pe 4 octombrie 1905 ($M = 5.1 \pm 0.7$) au afectat localitatea Anapa. În aceeași zonă, conform înregistrărilor de la 8 stații de coastă, valuri tsunami produse în urma unui cutremur din data de 12 iulie 1966 ($M = 5.8 \pm 0.5$) au condus la schimbări ale nivelului mării.

Până în prezent, au fost raportate 3 tsunami în lungul coastelor turcești ale Mării Negre: 1598, 1939, 1968 (Altinok și Ersoy, 1998). Este știut că, evenimentul produs în 1598 în golful dintre Sinop și Samsun, asociat cutremurului din Amasya-Corum, a dus la inundarea uscatului pe o milă (1.6 km) în interior și a înecat multă lume (Ambraseys și Finkel, 1995). Pe 26/27 decembrie 1939, după producerea cutremurului Erzincan ($M_s = 8.0$), la Fatsa marea s-a retras 50 m, după care, a revenit inundând uscatul (Parejas și colab., 1942). Creșterea inițială a nivelului mării a fost înregistrată de 6 stații de nivel amplasate pe coasta nordică a Mării Negre (Murty, 1977). Wedding (1968) a stabilit că inundarea uscatului la Amasra a fost pe 100 m. Valurile produse în timpul cutremurului Bartin ($M_s = 6.6$) din 3 septembrie 1968 au înaintat circa 50-60 m de la linia de țărm în interiorul uscatului. Ranguelov (1996) descrie creșterea mării care a fi fost circa 3 m la Amasra.

Valuri tsunami au fost descrise și în Marea de Azov. Altinok (1999) menționează primul eveniment ca fiind produs în anul 1650. Indiciile geologice ale tsunamilor generate de cutremurele $M = 7 \pm 0.5$, au fost descrise în baia Sevastopol. Mult mai recent, pe coasta Mării de Azov creșterea nivelului mării a fost de 40 cm pe 2 august 1990 (Nikonov, 1997a).

Nikonov (1997a, menționându-i pe Grigorash și pe Korneva, 1972) a stabilit că lungimea valurilor tsunami în Marea Neagră a fost de 45-110 m, cu o viteză de propagare de 120-140 km/h, durata de parcurs de la o coastă la alta fiind de 10 la 110 minute. În Fig. 3 este prezentată harta Mării Negre cu indicarea pozițiilor locațiilor evenimentelor tsunami în ordine cronologică.

Fig. 3 Locațiile de tsunami în Marea Neagră în ordine cronologică



1.6. Sub efectul dezastrelor produse de tsunami la scară globală, în ultimele decenii s-au intensificat preocupările institutelor științifice din țările riverane Mării Negre pentru cunoașterea aprofundată a undelor generate de acestea. În acest sens se menționează preocuparea cecetătorilor turci (Yusuf Bayrac, Sercan Ozturc, Aygun Erduran, 2002) de a face un inventar al fenomenelor în Marea Neagră, în vederea stabilirii unei legături între înălțimea valurilor tsunami și magnitudinea cutremurelor generatoare. Din acest inventar a rezultat că, în apropierea Capului Idokopas, lângă Soci-Tuapse, în anul 1909 s-au observat trei valuri de tsunami cu înălțimea de 4-5 m.

2. Informații rezultate din observațiile hidrologice efectuate pe coasta românească

Nici coasta românească a Mării Negre nu a rămas în afara efectelor fenomenelor de tip tsunami. Informațiile culese de-a lungul vremii se referă cu precădere la observațiile de nivele, începând cu sec. XIX. Astfel, cercetările privind variația nivelului Mării Negre de-a lungul coastei românești au fost efectuate la început de fosta Comisiune Europeană a Dunării și apoi de România. Una din lucrările științifice care tratează caracteristicile regimului nivelului Mării Negre o constituie "Marea Neagră în zona litoralului românesc. Monografie hidrologică" (Bondar C., State I., Roventa V., 1973), elaborată de un colectiv de cercetători din cadrul Institutului de Meteorologie și Hidrologie București (IMH). De atunci, pe plan național s-au mai publicat și alte lucrări legate de regimul nivelului Mării Negre, fără a aborda distinct problema denivelărilor oglinzii apei mării determinate de diverse cauze. Se expun pe scurt în continuare rezultatele cercetărilor românești. Recent, un studiu sistematic, multidisciplinar, al evenimentelor de tip tsunami pe coasta României la Marea Neagră a fost inițiat și coordonat de către Institutul de Cercetare Dezvoltare pentru Geologie și Geoecologie Marină (GEOECOMAR), București.

În urma analizei datelor multianuale românești rezultă următoarele caracteristici ale oscilațiilor nivelului Mării Negre:

2.1. Variația nivelului Mării Negre este determinată de o serie de cauze care modifică atât volumul de apă al mării cât și forma oglinzii apei.

2.1.1. O prima categorie de cauze, care modifică volumul de apă, sunt aporturile și pierderile de apă care determină variații lente de nivel și de lungă durată, cu caracter sezonier și multianual. Este vorba de nivelele medii lunare și anuale rezultate din bilanțul hidrologic volumetric al cuvetei Mării Negre. Pentru exemplificare sunt prezentate graficele de variație ale nivelului medii lunare (Fig. 4) și anuale (Fig. 5) în punctele costiere românești Sulina, Constanța și altele.

Fig. 4 Graficele de variație ale debitelor de apă medii lunare ale Dunării și ale nivelului medii lunare ale Mării Negre în diverse puncte costiere

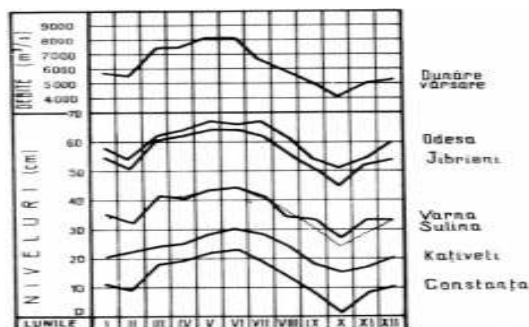
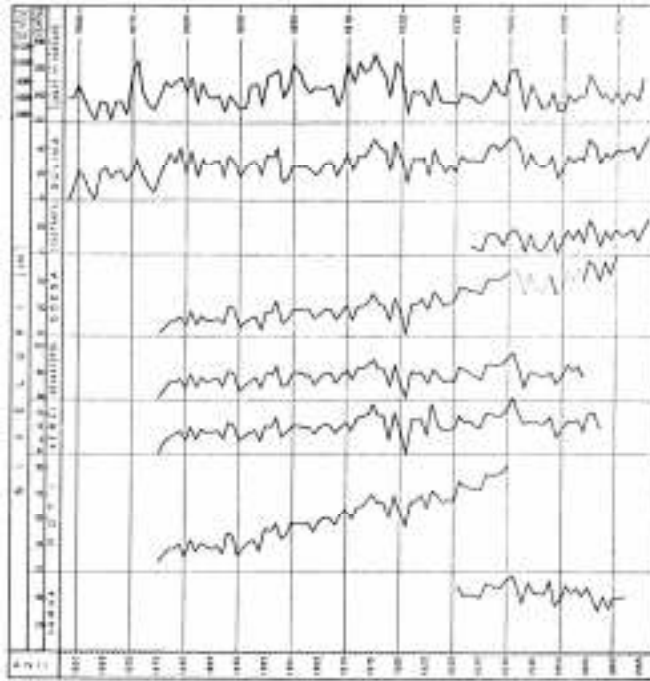


Fig. 5 Graficele de variație ale debitelor de apă medii anuale ale Dunării și ale nivelelor medii anuale ale Mării Negre în diverse puncte costiere



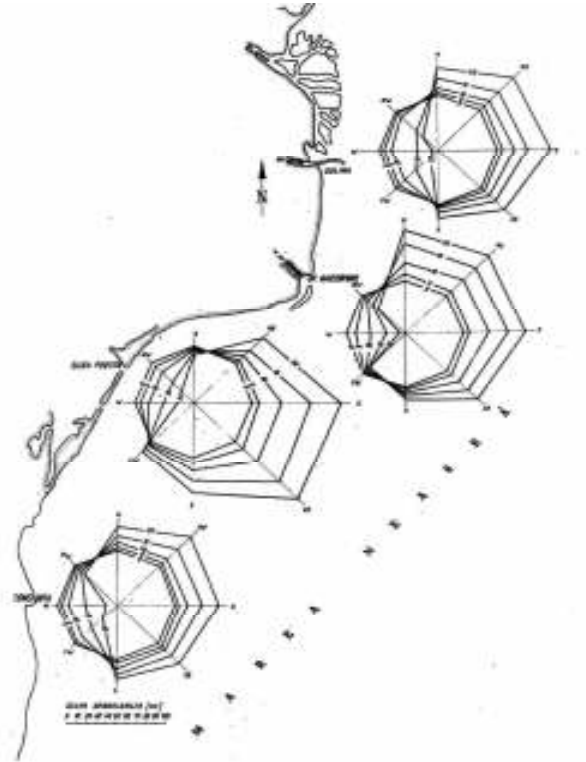
Din examinarea celor două figuri rezultă următoarele caracteristici ale regimului de variație al nivelelor medii lunare și anuale ale Mării Negre:

- există un sincronism aproape perfect între variațiile debitelor de apă ale Dunării la vărsare și variațiile nivelelor Mării Negre;
- amplitudinea de variație anuală ale nivelelor medii lunare este de circa 14-20 cm, iar a celor interanuale ale mediilor anuale de circa 2-12 cm;
- la variația în timp a nivelelor medii anuale se manifestă o tendință de creștere în timp, cu rate anuale de 1- 8 mm/an, în funcție de poziția geografică a punctelor costiere.

2.1.2. A doua categorie de cauze care modifică forma oglinzii apei din starea de repaus, fără modificarea volumului de apă, fac parte vânturile, atracția universală și seishele. Acestea determină variații de nivel rapide și de scurtă durată, cu caracter orar și zilnic. Este vorba de denivelările oglinzii apei la coastă produse sub acțiunea de frecare a vânturilor, a mării, precum și sub acțiunea de variație a presiunii atmosferice.

- Referitor la acțiunea vânturilor câteva exemple sunt prezentate în figura 6 sub forma rozelor denivelărilor produse de vânturi în patru puncte costiere românești (Sulina, Sf. Gheorghe, Portita și Constanța). Rozele exemplifică mărimea denivelărilor pozitive (de creștere a nivelelor, în afara conturului poligonal) și negative (de scădere a nivelelor, în interiorul conturului poligonal) ale oglinzii apei în funcție de vitezele vânturilor de 5, 10, 15 și 20 m/s, care acționează pe cele opt direcții principale ale vântului (N, NE, E, SE, S, SV, V și NV). Se observă că, sub acțiunea furtunilor dinspre largul mării, cu viteze de 20 m/s, creșterile de nivel pot atinge valori 40-80 cm. În mod invers, sub acțiunea furtunilor dinspre uscat, cu viteze de 20 m/s, scăderile de nivel ating valori de 30-60 cm.

Fig. 6 Rozele denivelării oglinzii apei Mării Negre sub acțiunea vânturilor la Sulina, Sfântu Gheorghe, Portița și Constanța



- Referitor la marea în Fig. 7 este prezentată o înregistrare grafică a nivelului Mării Negre la maregraful din portul Constanța pentru zilele de 5-7 martie, 1962, interval cu lună nouă și cu vreme calmă. Marea a fost de tip semidiurn, cu perioada de 12 ore și 25 minute, având amplitudinea de circa 11 cm.

Fig. 7 Marea în Marea Neagră măsurată la maregraful din portul Constanța în zilele cu lună plină din 5-7 martie 1962 pe vreme de mare calmă

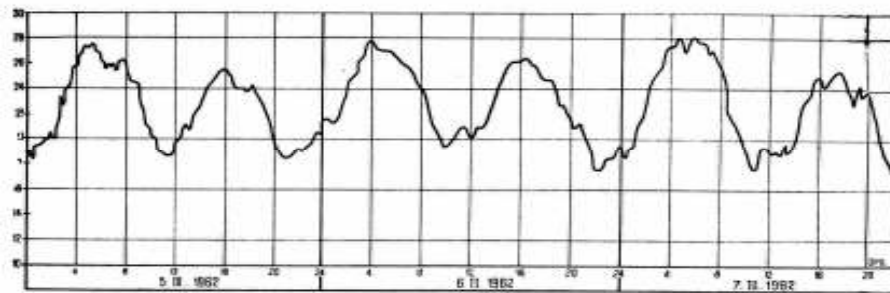
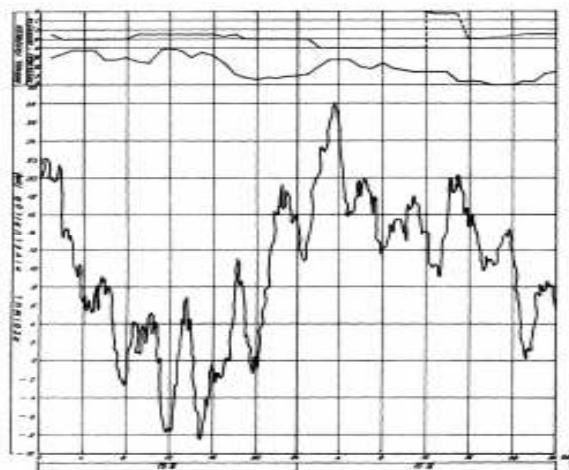


Fig. 8 Seishe ale Mării Negre înregistrate în portul Constanța în zilele de 15-16 februarie 1962



- Referitor la seishe în Fig. 8 este prezentată o înregistrare grafică a nivelului Mării Negre la maregraful din portul Constanța, în zilele de 15-16 februarie, 1962. Oscilațiile, în număr de 11, cu perioade de circa 4 ore și 21 minute și amplitudini de 14-18 cm, au durat două zile. Fenomenul s-a datorat schimbării bruște a direcției vântului la începutul zilei de 15 februarie, respectiv la ora 15 din ziua de 16 februarie.

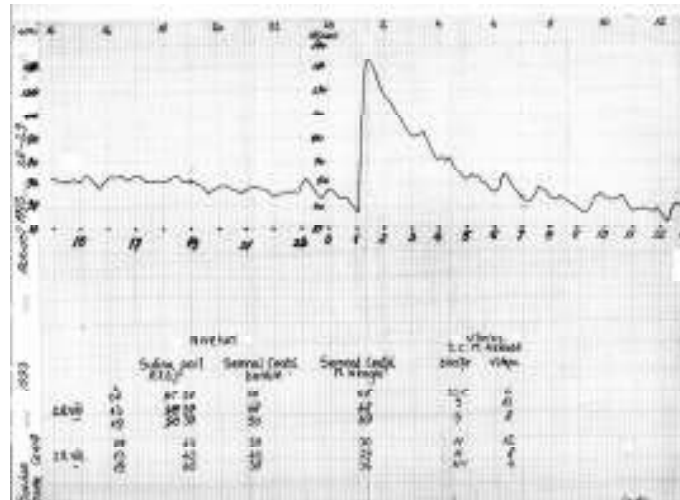
2.1.3. Separat de prezentarea binecunoscutelor variații de nivel pe coasta românească a Mării Negre la diverse intervale de timp s-au produs o serie de variații de nivel, cu amplitudini de până la 2 m care, pe durate scurte de timp au provocat inundații și chiar daune materiale.

Începând cu anul 1958 și până în 2006, sunt consemnate în scris la stațiile Sulina și Sf. Gheorghe 5 fenomene deosebite, din care 4 numai sub forma de observații vizuale și unul înregistrat cu aparatură, plus observații vizuale:

- Mai, 1958 – Sulina - inundarea digurilor gurii canalului Sulina și, parțial, a zonei estice a orașului, pe timp calm;
- Decembrie 1960 - gura canalului Sulina - inundarea completă a digurilor gurii canalului Sulina, a platformei Stației semnalului de ceață și, parțial, a platformei Stației meteorologice, având ca efecte deplasarea blocurilor de piatră din diguri, antrenarea în albia canalului a unor butelii metalice de hidrogen depozitate pe dig, precum și dislocarea din locul de acostare a navelor staționate lângă digul de sud al canalului Sulina;
- August, 1993 (eveniment înregistrat instrumental) - variația semnificativă a nivelului mării, având ca efecte inundarea digurilor gurii canalului Sulina (Fig. 9).
- Martie, 1995 - insula Sacalin - inundarea completă a insulei;
- Mai, 1995 – Sulina - inundarea digurilor gurii canalului Sulina și a plajei Sulina.

În toate situațiile de mai sus, ridicarea nivelului apei s-a produs sub forma unei unde de apă solitare, propagată dinspre sud către nord, având amplitudinea de peste 1,5 m și durata de până la 12 ore. Se constată că, această perioadă se apropie mult de perioada mării înregistrate la Constanța în anul 1962. De aici rezultă că fenomenul de creștere a nivelului mării pe coasta Deltei Dunării sunt mai curând un rezultat al interferenței marelui incidente cu cele reflectate, așa cum s-a aratat la punctele 1.2-1.3.

Fig. 9 Graficul de variație a nivelului apei Mării Negre înregistrat la Sulina în zilele de 28-29 august 1993



Din Fig. 9 se constată că faza de creștere a nivelului apei a fost foarte scurtă, de circa 10-15 minute, în timp ce faza de descreștere a nivelului a fost cu mult mai lungă, de circa 12 ore. Din relatările verbale rezultă că asemenea fenomene, produse în lungul țărmului Deltei Dunării, au avut loc și în trecut, dar nu au fost consemnate.

Fenomenul necesită o cunoaștere științifică aprofundată a cauzelor producerii lui, întrucât afectează atât mediul inconjurator cat si activitățile economice din lungul țărmului Deltei Dunării.

3. Aspecte teoretice

Sub aspect teoretic mișcarea apei provocată de cutremure și erupții vulcanice submarine face parte din categoria mișcărilor nepermanente ale lichidelor, în care componentele de viteză și de presiune sunt variabile în timp.

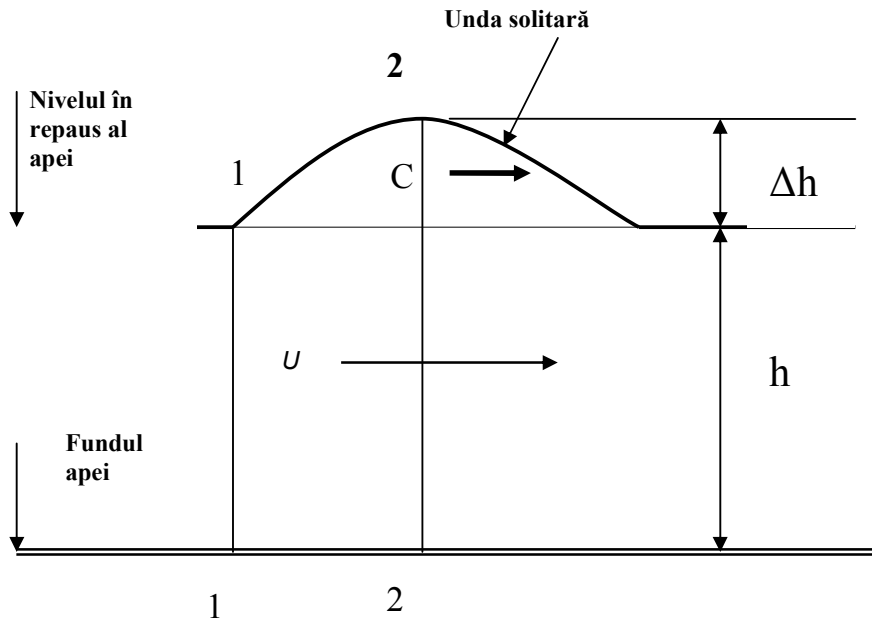
Mișcările nepermanente au cauze multiple: impulsuri mecanice la suprafața apei, cu modificarea nivelului apei (Δh), sau impulsuri cu adaos de mase de apă însoțite de creșteri de debite (ΔQ) și de nivel (Δh). Mișcările nepermanente au caracter ondulatoriu și pot fi cu/fără transport de apă.

Din prima categorie fac parte undele generate în canale și albiile de râuri, sub formă de viituri, salturi hidraulice sau unde de inundație. Din a doua categorie fac parte valurile mobile și valurile simple. Valurile mobile se prezintă ca o succesiune de unde generate de cauze periodice, sau cvasi-periodice, cum sunt vânturile. Valurile simple, inclusiv cele solitare (individuale), sunt generate de cutremure submarine, erupții vulcanice sau explozii. Valurile generate de cutremure sau erupții vulcanice mai poartă denumirea de valuri seismice sau, ca denumire consacrată, **tsunami**. Referitor la acestea, științele mecanicii lichidelor (hidraulica și oceanografia fizică) dau câteva explicații și stabilesc relațiile de formare și mișcare. O primă explicație, și deducere teoretică, se referă la viteza de propagare a valurilor solitare. În acest scop se va utiliza schița de mai jos pe care Rouse H. (*Fluid mechanics for hydraulic engineers*, 1958) a făcut deducerea respectivă în prima aproximație.

Conform schiței din Fig. 10, în momentul producerii cutremurului sau erupției vulcanice submarine, are loc un șoc mecanic care se transmite în toate direcțiile masei de apă. La suprafața apei șocul respectiv se manifestă printr-o denivelare Δh a oglinzii apei care se propagă lateral de verticala epicentrului cu viteza C . În același timp, în mișcarea ei, unda formată la suprafața apei induce o viteză medie U în masa de apă, de adâncime h , exprimată de relația,

$$U = C \cdot \Delta h / (h + \Delta h) \quad (2)$$

Fig. 10 Schiță indicând formarea și propagarea undei solitare



Pentru deducerea vitezei de propagare a undei se aplică două ecuații din mecanica lichidelor:

- Ecuația continuității, constă în egalitatea care trebuie să existe într-un interval scurt de timp Δt între masa de apă antrenată de undă ($C \cdot \Delta h \cdot \Delta t$) și restul masei de apă ($U \cdot h \cdot \Delta t$), care trebuie să-i ia locul în vederea păstrării continuității volumului de apă.

$$C \cdot \Delta h \cdot \Delta t = - U \cdot h \cdot \Delta t \quad (3)$$

- Ecuația impulsului, constă în egalitatea dintre forțele hidrodinamice care acționează prisma de apă în vederea păstrării echilibrului dinamic. Este vorba de forța de impuls $\gamma / g \cdot h \cdot U \cdot C$ care acționează de la stânga la dreapta și forța presiunii hidrostatice $\gamma \cdot h \cdot \Delta h$ care acționează de la dreapta la stânga. Sunt neglijate frecările.

$$\gamma / g \cdot h \cdot U \cdot C = - \gamma \cdot h \cdot \Delta h \quad (4)$$

Luând în considerare relația (1) se înlocuiește U în ecuațiile (3) și (4), obținându-se expresia vitezei de propagare a undei de tsunami sub forma,

$$C = (g.h)^{0.5} \quad (5)$$

Este una din relațiile de bază ale undelor tsunami, obținută pe calea matematică cea mai simplă.

Pe bază de observații și înregistrări de tsunami produse de cutremure s-a reușit, pentru Marea Neagră, stabilirea unei corelații empirice privind legătura dintre magnitudinea (M) cutremurului generator și amplitudinea (H) valului de tsunami. Una din aceste corelații a fost stabilită de E. Polinovsky pentru coasta Crimeei și Caucazului, publicată în anul 1999. Expresia acestei corelații este dată de funcția empirică (6).

$$\ln(H) = 0.75 \cdot M - 2.04 \quad (6)$$

Pe baza funcțiilor matematice de mai sus, au fost concepute modele matematice ale propagării undelor de tsunami. Nimeni însă nu a putut concepe până în prezent un model matematic de prognoza producerii undelor de tsunami.

BIBLIOGRAFIE

- Altinok Y.**, (1999), "Tsunami along the Coasts of the Black Sea", Paper 08-1. Second Balkan Geophysical Congress and Exhibition, Istanbul.
- Bondar C., State I., Roventa V.**, (1973), "Marea Neagra in zona litoralului romanesc. Monografie hidrologica.", Editura tehnica, Bucuresti.
- Bowden K.**, (1983), "Physical Oceanography of Coastal Water", Ellis Horwood Limited, New York.
- Cioc D.**, (1975), "Hidraulica", Editura didactica si pedagogica, Bucuresti.
- Egorov I.,I.** (1966), "Fizichescaia okeanografia", Gidrometeorologiceskoe izdatelistvo, Lenigrad.
- Leonov A.K.**, (1960), "Regionalnaia okeanografia", Gidrometeorologiceskoe izdatelistvo, Lenigrad
- Mateescu C.**, (1961), "Hidraulica", Editura didactica si pedagogica, Bucuresti.
- Nacu F., Radulescu M.,B.**, (2000), "Mean Level Variations of the Black Sea – a Possible precursor of the Vrancea strog Earthquakes.", Paper SE-4, International Geophysical Conference & Exposition, Bucharest, Romania.
- Polinovsky E.**, (1999), "Preliminary Estimates of Tsunami Danger for the Northern Part of the Black Sea."
- Proudman J.**, (1957), "Dynamical Oceanography (in Russian)", Izdatelistvo Inostrannoi Literatury, Moskva.
- Rouse H.**, (1958), "Fluid mechanics for hydraulic engineers (in Russian)", Gosenergoizdata, Moskva.
- Shuleikin V. V.**, (1959), "Kratkii kurs fiziki morea", Gidrometeorologhiceskovo izdatelistvo, Leningrad.
- Yusuf Bayrac, Sercan Ozturc,Aygun Erduran** (2002), "The relationship between maximum magnitudes and modal values for different regions of Turkey".