

FLUCTUAȚII NANOFLORISTICE ȘI SCHIMBĂRI AMBIENTALE HOLOCENE PE ȘELFUL ROMĂNESC AL MĂRII NEGRE

Mihaela C. MELINTE¹, Gheorghe OAIE¹

¹ *Institutul Național de Geologie și Geoecologie Marină (GEOECOMAR București)
Strada Dimitrie Onciul, Nr. 23-25, RO-024053 București, România*

Abstract

The main goal of this paper is to present the calcareous nanofloral fluctuations identified in a shallow setting, between 12 m and 66 m water depth, in cores from NW Black Sea. The cores proceeding from a water depth below 28 m contain, in the youngest Holocene deposits (i.e., the Shallow Unit), the bloom of *Emiliana huxleyi*. Towards the base of the unit, the abundance of *Emiliana huxleyi* decreases, and *Braarudosphaera bigelowii* also occurs. The Unit 3 (the oldest lithological unit cored) contains no nanofloras.

Cuvinte cheie: Holocen; Nanoplancton calcaros; Modificări ambientale; NV Marea Neagră.

1. Introducere

Fluctuațiile nanoplanctonului calcaros holocen din Marea Neagră sunt de o deosebită importanță pentru identificarea modificărilor ambientale. Restabilirea în Holocenul superior a comunicării dintre Marea Neagră și Marea Mediterană, prin Marea Marmara, este indicată de apariția mâlurilor coccolitice ('coccolith ooze', Arthur & Dean, 1998).

În timpul ultimei glaciațiuni cuaternare, nivelul Mării Negre a scăzut semnificativ, fiind cu cel puțin 100 m mai coborât decât nivelul actual (Lancelot *et al.*, 2002). În consecință, bazinul Mării Negre este descris de către unii cercetători (sinteza datelor cunoscute în Yanko-Hombach *et al.*, 2006) ca un mediu depozițional lacustru.

În Holocenul inferior, în evoluția bazinului Mării Negre a avut loc trecerea de la stadiul lacustru la stadiul marin, prin reluarea comunicării dintre Marea Neagră și Marea Mediterană, prin Marea Marmara. Comunitatea științifică internațională este, în general, de acord că vârsta acestei schimbări paleoambientale majore este de aproximativ 7000 de ani (i.e., Arthur & Dean, 1998; Lericolais *et al.*, 2006 și sinteza datelor cunoscute în Yanko-Hombach *et al.*, 2006), dar modalitatea în care a avut loc această schimbare suscită vii dezbateri științifice. Există două teorii importante: (i) prima indică o creștere bruscă a nivelului apei, care a dus la restabilirea conexiunii dintre Marea Neagră și Marea Mediterană, prin Marea Marmara și strâmtoarea Bosfor (Ryan *et al.*, 2003); (ii) a doua teorie arată că invazia apelor sărate dinspre Marea Mediterană spre bazinul Mării Negre a avut loc în mod treptat (Nevesky, 1970; Fedorov, 1971; Panin, 1997; Görür *et al.*, 2001; Lericolais *et al.*, 2006; Yanko-Hombach *et al.*, 2006).

Bukry (1974) a fost primul cercetător care a utilizat în investigarea paleoambientală a depozitelor holocene ale Mării Negre nanoplanctonul calcaros, acest grup de alge unicelulare fiind util și pentru reconstituirea de paleosalinitate. Autorul mai sus menționat a arătat că *Emiliana huxleyi*, taxon care este abundent în Marea Neagră începând cu Holocenul superior, este una dintre cele mai tolerante specii la variațiile de salinitate (între 11-41 ‰).

În mod surprinzător, studii recente (Giunta *et al.*, 2007), au indicat prezența speciei de nanoplancton calcaros *Emiliana huxleyi* în toate cele trei unități descrise de Ross &

Degens (1974), respectiv în mълurile coccolitice sau “Unitatea 1” (depuse în intervalul 3500 ani-Actual), în mълurile sapropelice sau “Unitatea 2” (depusă în intervalul 3500-7100 ani) și în mълurile neoeuxinice sau “Unitatea 3” (depusă în intervalul 7100-7600 ani). Dacă prezența abundentă a speciei *Emiliania huxleyi* în Unitatea 1 și episodic în Unitatea 2 (în care este localizată prima invazie a acestei specii de nannoplancton calcaros în Marea Neagră) era cunoscută de acum câteva decenii (Bukry, 1974), identificarea de către Giunta *et al.* (2007) a speciei în Unitatea 3 (=lutitul lacustru) poate avea implicații paleoecologice importante. De remarcat că specia *E. huxleyi* din Unitatea 3, este reprezentată prin specimene foarte mici (submicronice), care apar rar, dar constant.

După Giunta *et al.* (2007), există două posibilități pentru a explica prezența speciei *E. huxleyi* în Unitatea 3 din Marea Neagră: (1) remanierea din sedimente marine de vârstă eemiană (stadiul isotopic 5e), dar această ipoteză ar conduce la ideea unor remanieri selective, deoarece alte specii de nanoplancton calcaros nu sunt prezente, și de aceea este destul de neclar de ce tocmai această specie delicată, de dimensiuni extrem de reduse a fost remaniată; (2) specimenele provin din transportul coccolitelor din Mediterana în Marea Neagră, prin conexiuni de scurtă durată, produse în timpul depunerii Unității 3. Abundența extrem de scăzută, dar constantă, precum și dimensiunea redusă a speciilor de *E. huxleyi*, sugerează că specia a putut prolifera în Marea Neagră (deci periodic, în timpul stadiului ‘lacustru’, salinitatea apei fiind de cel puțin 11 ‰), dar condițiile de mediu erau suboptimale pentru dezvoltarea ei.

Lucrările publicate anterior asupra Holocenului din NV Mării Negre (Major *et al.*, 2002; Lericolais *et al.*, 2006; Giunta *et al.*, 2007) au prezentat aproape în exclusivitate succesiuni din zone marine mai adânci (peste 80 m adâncimea apei). Lucrarea de față prezintă rezultatele obținute prin investigarea depozitelor holocene situate foarte aproape de țărm, în apropierea Insulei Sahalin, în fața Complexului Lacustru Razelm-Sinoie și în fața localității Eforie, la adâncimi ale apei care nu depășesc 42 m. O singură carotă a fost recoltată de la o adâncime a apei de 66 m (Oaie & Melinte, 2009). Sunt prezentate datele obținute pe baza investigațiilor de nanoplancton calcaros (calitativ și cantitativ), precum și investigațiile litologice și sedimentologice realizate.

Probarea s-a realizat în timpul campaniilor de teren din anul 2008, desfășurate cu nava *Mare Nigrum*, aparținând GEOECOMAR. Investigațiile au fost susținute financiar din Proiectul PNCDI II Idei, *Marea Neagră: evoluție biotică, paleoecologică și paleoclimatică în ultimii 7000 de ani*, Contract Nr. 364/2007 (Director de proiect Dr. M.C. Melinte), precum și de către Proiectul PNCDI - CEEX “*Cercetări multidisciplinare privind hazardele naturale: producerea fenomenului de tsunami în Marea Neagră*”, Contract 161/2006 (Director de proiect Dr. G. Oaie).

2. Zona studiată

Partea de NV a Mării Negre este foarte importantă pentru studierea fluctuațiilor nanofloristice, sedimentologice și litologice holocene, deoarece, în această regiune, șelful continental se extinde semnificativ, acoperind 25 % din suprafața mării (Panin & Popescu, 2007). Această regiune beneficiază de aportul a două dintre cele mai mari fluvii europene: Dunărea, cu un aport de sedimente de 200 km³/an și Niprul, cu un aport de sedimente de 54 km³/an (Panin, 1999; Bondar & Panin, 2001; Popescu *et al.*, 2006). În partea de NV a Mării Negre au fost identificate mai multe arii depoziționale: Delta Dunării, cu frontul Deltei și Prodelta (Panin, 1997; Panin & Strechie, 2006), șelful continental și povârnișul continental, ultimul fiind localizat la peste 200 m adâncimea apei, toate zonele anterior

menționate fiind caracterizate prin rate mari de sedimentare nu numai în Holocen, dar și în timpul Miocenului superior și Pliocenului (Oaie *et al.*, 2005; Melinte, 2006).

Bazinul Mării Negre a suferit modificări semnificative în ultimii 9500 de ani legate de schimbările paleoclimatice și paleoambientale, în special de ridicarea globală a nivelului eustatic după ultima glaciațiune. Modificările din Holocen sunt reflectate de caracteristicile litologice și sedimentologice ale sedimentelor, precum și de fluctuația caracterului asociațiilor paleofaunistice și paleofloristice (de la marin la salmastru).

După cum s-a arătat anterior, Ross & Degens (1974) au identificat în succesiunea depozitelor holocene ale Mării Negre acumulate la o adâncime a apei mai mare de 200 m, trei unități litostratigrafice, care sunt (de la recent spre vechi):

(i) Unitatea 1 - Măturile Coccolitice Laminitice (depuse într-un mediu marin, marcat de invazia și proliferarea speciei de nanoplancton *Emiliana huxleyi*;

(ii) - Unitatea 2 - Măturile sapropelice (care corespund unui stadiu salmastru până la marin, indicând un mediu depozițional anoxic);

(iii) Unitatea 3 - Lutitul lacustru (depus într-un mediu lacustru sau oligohalin).

În NV Mării Negre, în zonele mai puțin adânci (ex. la o adâncime a apei de până la 100 m), Unitățile 1 și 2 ale lui Ross & Degens (1974) nu mai pot fi recunoscut, în schimb Unitatea 3 este singura comună atât zonelor adânci, cât și șelfului (Giunta *et al.*, 2007).

În zonele mai puțin adânci (adâncimea apei sub 100 m), cele mai noi depozite din NV Mării Negre sunt reprezentate prin mături, argile și silturi, cu frecvente resturi de *Modiolus*, *Mytilus* și *Dreissena*, denumite de către Giunta *et al.* (2007) 'Shallow Unit' ("Unitatea de apă puțin adâncă") și care, probabil, corespunde Unității 1, definită de către Ross & Degens (1974). Limita dintre Unitatea 3 și Unitatea de apă puțin adâncă (=Shallow Unit) este marcată de un nivel distinct ('hash layer', *sensu* Major *et al.*, 2002), urmat de un mât bogat în *Mytilus* și care, probabil, corespunde (Lericolais *et al.*, 2006) Unității 2 a lui Ross & Degens (1974).

3. Metodologie

Investigațiile geologice s-au concentrat asupra a patru zone, situate pe șelful de NV al Mării Negre (Fig. 1): (1) - în fața Deltei Dunării, aproape de Insula Sahalin (locația MN); (2) - în fața Complexului lacustru Razelm - Sinoe (locația PO); (3) - în fața localității Eforie (locația EF), și (4) - la SE de paralela orașului Constanța (locația BS în Fig. 3). Litologia, precum și caracterele sedimentologice și asociațiile macrofaunistice au fost prezentate detaliat în Oaie & Melinte (2009).

Carotele prelevate au fost analizate în detaliu din punct de vedere al nanoplanctonului calcaros. Au fost efectuate atât studii calitative, la nivel generic și specific, precum și analize cantitative, prin numărarea a cel puțin 300 specimene/preparat. Analiza preparatelor s-a realizat cu un microscop optic Nachet cu obiectiv de imersie 100 x, cu lumina polarizată, având mărirea de 1200 x.

4. Rezultate

Carota prelevată din stația MN 07-03 (Fig. 1), localizată în apropierea insulei Sahalin, la o adâncime a apei de 12 m, este caracterizată din punct de vedere litologic de prezența măturilor holocen superioare necarbonatice (Fig. 2). Macrofauna este alcătuită din fragmente de bivalve, specimene întregi fiind foarte rar observate. În carota MN 07-03

(300 cm lungime) nu apar asociații de nanoplancton calcaros *in situ*, fiind observate exclusiv specii remaniate din depozite cretacice, paleogene și neogene.

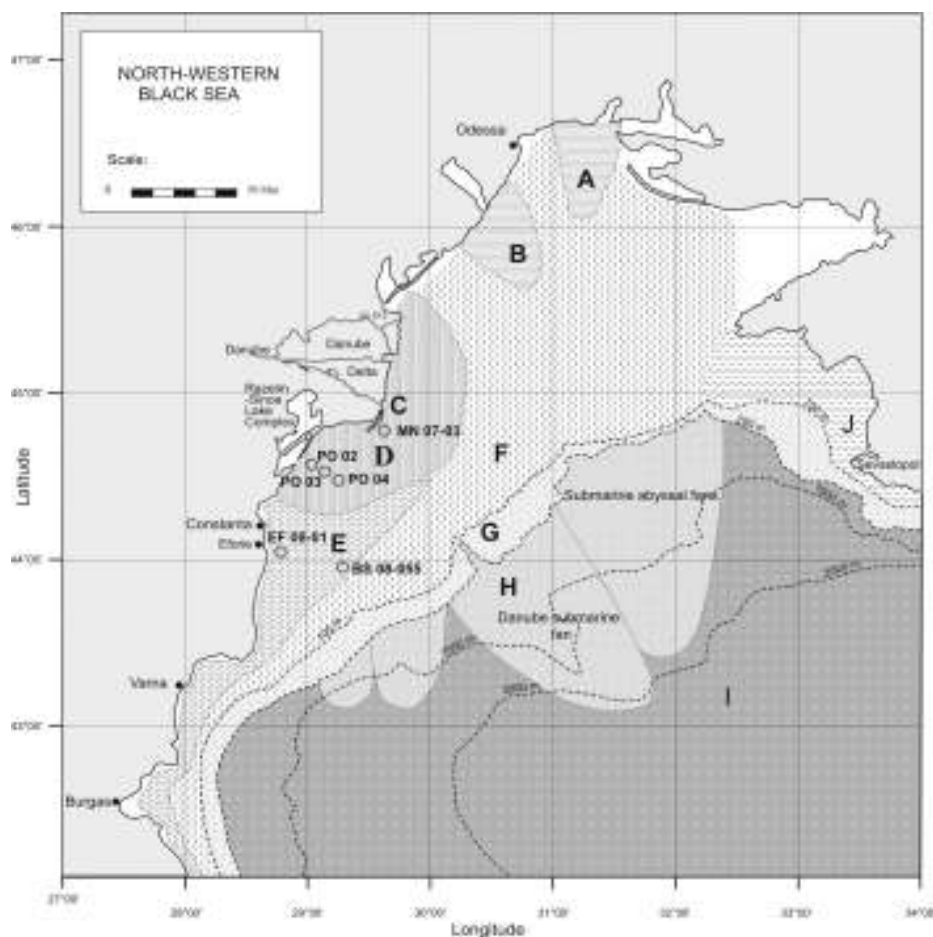


Fig. 1 Amplasarea locațiilor de probare.

Sedimentele holocen superioare din partea sudică a Prodeltei (stațiile PO 02, PO 03, PO 04 - Fig. 1) sunt alcătuite din secvențe de mълuri, silturi și argile (Fig. 2). Au fost identificate numeroase nivele centimetrice lumașelice, în care macrofauna este dominată de genul de moluște *Modiolus* și de gastropode de talie mică. În carota PO 04, există frecvente intercalații nisipoase spre partea inferioară. Baza carotei PO 04 (între 257-261 cm) este reprezentată printr-o argilă cenușie compactă. Carotele PO 02 și PO 03, prelevate de la adâncimea apei de 20 m și respectiv 27.50 m, nu conțin specii holocene de nanoplancton calcaros *in situ*.

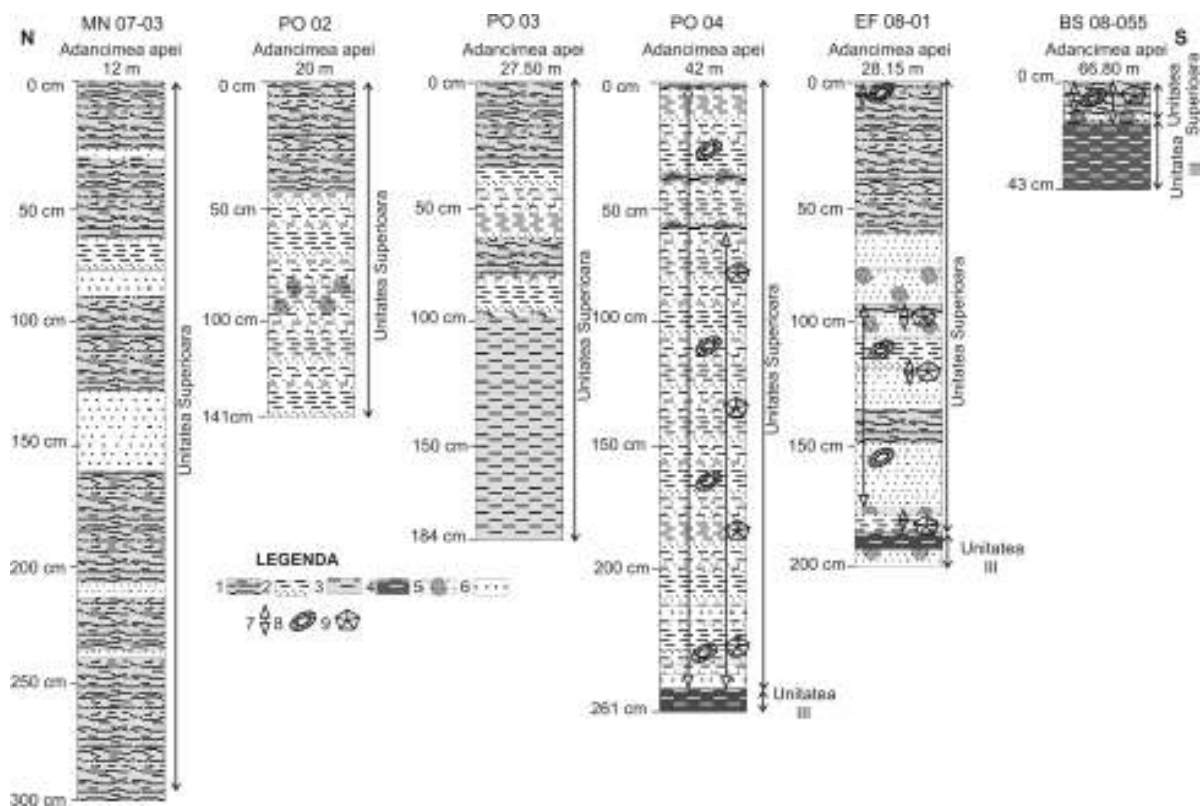


Fig. 2 Lito- și biostratigrafia depozitelor Holocenului superior în carotele analizate. Legenda: 1-mâl; 2-argilă; 3-silt; 4-silt masiv compact; 5-lumașel; 6-nisip; 7- interval de ocurență; 8-bloom; 9- *Emiliana huxleyi*; 10-*Braarudosphaera bigelowii*.

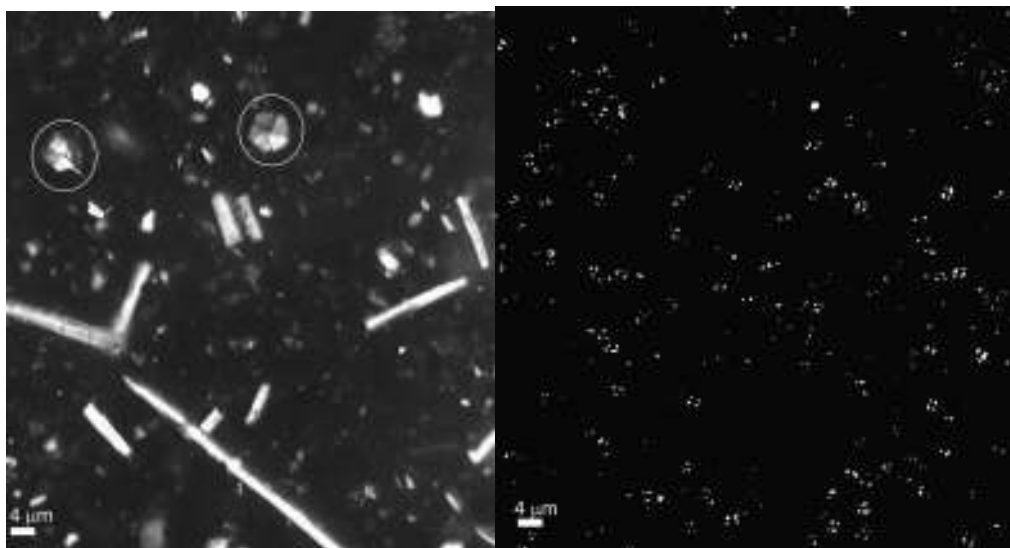


Fig. 3 *Braarudosphaera bigelowii* și frecvente cristale carbonatice aciculare (stânga), Stația BS 08-55, interval 13-18 cm; asociație monospecifică cu *Emiliana huxleyi*, Stația PO-04, interval 50-55 cm (dreapta).

Probele care provin din locația PO 04 conțin (interval 0-60 cm) specia holocenă *Emiliana huxleyi*, cu o abundență remarcabilă, de până la 1200 specimene/mm² (Fig. 3). Intervalul cuprins între 60 - 256 cm conține atât specia *Emiliana huxleyi*, cât și specia *Braarudosphaera bigelowii*, ambele cu o frecvență redusă. Abundența speciei *Emiliana huxleyi* este mult mai redusă decât în intervalul 0-60 cm, de până la 200-300

specimene/mm². Ultimii 4 cm de la baza carotei PO 04 (intervalul 257-261 cm) nu conțin nici o specie tipic holocenă taxa (ex., *Emiliana huxleyi*) și nici *Braarudosphaera bigelowii*.

Carota BS 08-055, cu o lungime totală de 43 cm, este amplasată la adâncimea de 66.80 m, fiind caracterizată, din punct de vedere litologic, de prezența mălurilor cenușii-verzui, cu numeroase fragmente și specii intacte de moluște, asociația macrofaunistică fiind dominată de specia *Modiolus phaseolinus*. Nivele lumașelice centimetrice, care conțin macrofaună marină (ex., *Mytilus galloprovincialis*, *Cardium* spp.) și salmastră/dulcicolă (*Dreissena*, *Monodacna*) sunt prezente. De la cm 19 și până în baza carotei (43 cm), a fost observată o argilă cenușie, compactă, care conține frecvent moluște aparținând genurilor *Dreissena* și *Monodacna*, precum și gastropode de dimensiuni reduse.

Partea superioară a carotei, primii 11 cm, conține dezvoltarea explozivă a speciei de nanoplancton calcaros *Emiliana huxleyi* (prezentă cu o abundență remarcabilă, de peste 1500 specimene/mm²), reprezentând în jur de 90 % din totalul nanoflorei determinate. Specia de nanoplancton calcaros *Braarudosphaera bigelowii* este prezentă cu o frecvență redusă, până la 5 % din totalul asociațiilor nanofloristice, în timp ce remanierele (cretacice, paleogene și miocene) nu depășesc 5 % din totalul tafocenozelor. În intervalul 12-18 cm, *Emiliana huxleyi* apare rar (până la 10 % din totalul asociațiilor nanofloristice *in situ*), restul, de până la 90 %, fiind reprezentat prin specia *Braarudosphaera bigelowii*. Intervalul mai sus menționat conține numeroase cristale aciculare carbonatice (Fig. 3). În intervalul 19-43 cm au fost observați doar taxoni de nanofloră calcaroasă remaniați din depozite mai vechi.

Depozitele holocen superioare observate în Carota EF 08-01, colectată de la o adâncime a apei de 28 m (Fig. 2), sunt alcătuite în intervalul 0-183 cm, din măluri cenușii, care alternează cu nivele nisipoase centimetrice și lumașele, conțin frecvent moluște aparținând genurilor *Modiolus* and *Mytilus*, precum și gastropode de talie mică. În intervalul 184-185 cm a fost identificat un nivel lumașelic, conținând specii de moluște marine și salmastre. Cele mai vechi sedimentate interceptate în această carotă (intervalul 185-200 cm) sunt reprezentate printr-o argilă compactă, în care sunt prezente nivele lumașelice centimetrice, alcătuite din fragmente și specimene întregi de *Dreissena*, într-o matrice nisipoasă.

Din punct de vedere nanofloristic, partea superioară a carotei EF 08-01 (primii 5 cm) conține în special remanieri din depozite mai vechi, precum și specia *Emiliana huxleyi*, cu o frecvență redusă (80-100 specimene/mm²). Intervalul 5-185 cm conține specia *Emiliana huxleyi*, cu o frecvență și mai redusă (40-50 specimene/mm²). Specia *Braarudosphaera bigelowii* apare sporadic, având, de asemenea, o frecvență redusă; taxonul reprezintă în jur de 5 % din totalul asociațiilor nanofloristice. În intervalul 184-185 cm, a fost observată o asociație monospecifică cu *Braarudosphaera bigelowii*. De la adâncimea de 186 cm și până la baza carotei (200 cm), nu a fost identificată nanofloră calcaroasă *in situ* sau remaniată.

5. Concluzii

Studiile geologice recente arată că pe șelful intern românesc, Unitățile 1 și 2 descrise în Holocenul superior din zonele adânci ale Mării Negre de către Ross and Degens (1974) nu pot fi identificate. Partea superioară a tuturor carotelor investigate aparține Unității de apă puțin adâncă (Shallow Unit), *sensu* Giunta et al., 2007. Probabil că Unitatea de apă puțin adâncă corespunde Unității 1 a lui Ross și Degens (1974). Această unitate

litostratigrafică are o grosime variabilă, între 300 cm în vecinătatea Insulei Sahalin și doar 19 cm în carota BS 08-055. Nivelul lumașelic cu macrofaună mixtă marină și salmastră, dominat de moluște aparținând genului *Dreissena*, redus uneori la câțiva cm în carotele studiate, este probabil echivalentul de apă puțin adâncă al Unității 2 a lui Ross și Degens (1974), putând fi atribuit nivelului bogat în *Dreissena*, descris de către Major et al. (2002) ca 'hash layer' în zonele de șelf ale Mării Negre. Acest nivel se plasează (Ryan et al., 1997; Major et al., 2002) la partea superioară a Unității 3 a lui Ross și Degens (1974). Studii recente (Major et al., 2002; Lericolais et al., 2006; Giunta et al., 2007) arată că Unitatea 3 este singura unitate litostratigrafică din succesiunea holocenă care poate fi recunoscută în întregul bazin al Mării Negre, din zonele de șelf intern și până la zonele abisale. Această unitate a fost identificată și în carotele studiate, fiind reprezentată printr-o argilă cenușie compactă, care nu conține nanofloră calcaroasă, fiind caracterizată prin prezența asociațiilor macrofaunistice dulcicole și salmastre.

Pe baza studiilor de nanoplancton calcaros, în depozitele holocen superioare analizate au putut fi identificate câteva ecozone (Fig. 2), după cum urmează (de la nou la vechi):

- Ecozona 1, caracterizată prin abundența remarcabilă (bloom) a speciei de nanoplancton calcaros *Emiliana huxleyi* și prin prezența sporadică a speciei *Braarudosphaera bigelowii*;
- Ecozona 2, caracterizată prin frecvența redusă a speciei de nanoplancton calcaros *Emiliana huxleyi* și prin prezența sporadică a speciei *Braarudosphaera bigelowii*;
- Ecozona 3, caracterizată prin frecvența redusă sau chiar absența speciei de nanoplancton calcaros *Emiliana huxleyi* și prin dezvoltarea explozivă (bloom) a speciei *Braarudosphaera bigelowii*; în această ecozonă au fost observate nivele care conțin frecvente cristale aciculare carbonatice, observate anterior de Giunta et al. (2007) la partea superioară a Unității 3 de pe șelful românesc;
- Ecozona 4, caracterizată prin absența asociațiilor de nanoplancton *in situ*; tafocenozele observate sunt alcătuite exclusiv din taxoni remaniați.

Bibliografie

- Arthur A.M., Dean W.E., 1998. Organic-matter production and preservation and evolution of anoxia in the Holocene Black Sea. *Paleoceanography* 13, 395-411.
- Bondar C., Panin N., 2001. The Danube Delta hydrologic database and modelling. *Geocomarina* 5, 5-52.
- Bukry D., 1974. Coccoliths as paleosalinity indicators - evidence from Black Sea. In: E.T. Degens and D.A. Ross (Eds.), *The Black Sea - Geology, Chemistry and Biology*, Mem. Am. Assoc. Pet. Geol. 20, 353-363.
- Fedorov P.V., 1971. Postglacial transgression of the Black Sea. *International Geology Review* 14(2), 160-164.
- Görür N., Çagatay M.N., Emre Ö. B., Alpar M., Sakiç Y. Islamoglu O., Algan T., Erkal M., Keçer M., Akkök R., Karlik G., 2001. Is the abrupt drowning of the Black Sea shelf at 7150 yr BP a myth? *Marine Geology* 176, p. 65-73.
- Giunta S., Morigi C., Negri A., Guichard F., Lericolais G., 2007. Holocene biostratigraphy and paleoenvironmental changes in the Black Sea based on calcareous nannoplankton. *Marine Micropaleontology* 63, 91-110.

- Lancelot C., Staneva J., Van Eeckhout D., Beckers J.-M., Stanev E., 2002. Modelling the Danube-influenced north-western continental shelf of the Black Sea. II: ecosystem response to changes in nutrient delivery by the Danube River after its damming in 1972. *Estuarine Coastline Shelf Science* 54, 473-499.
- Lericolais G., Popescu I., Guichard F., Popescu S.-M., Manolakakis L., 2006. Water-level fluctuations in the Black Sea since the Last Glacial Maximum. In: Yanko-Hombach, V., Gilbert, A.S., Panin, N., Dolukhanov, P.M. (Eds.), *The Black Sea Flood Question: Changes in Coastline, Climate, and Human Settlement*, pp. 437-452.
- Major C., Ryan W., Lericolais G., Hajdas I., 2002. Constraints on Black Sea outflow to the Sea of Marmara during the last glacial-interglacial transition. *Marine Geology* 190, 19-34.
- Melinte M.C., 2006. Cretaceous-Cenozoic Palaeobiogeography of the Southern Romanian Black Sea Onshore and Offshore. *GeoEcoMarina*, 9/10, p. 79-89.
- Nevevsky, E.N., 1970. Holocene history of the coastal shelf zone of the USSR in relation with processes of sedimentation and condition of concentration of useful minerals. *Quaternaria* 12, 78-88.
- Oaie G., Melinte M.C., 2009. Holocene lithological and biotical changes in the NW Black Sea. *Quaternary International* (under review).
- Oaie G., Secrieru D., Shimnkus K., 2005. Black Sea Basin: Sediment types and distribution, sedimentation processes. *Geocomarina* 9/10, 21-30.
- Oaie G., Ioane D., Seghedi A., Diaconescu M., Opreanu P., Ruzsa G., 2008. Marine natural hazard: new data about tsunami phenomena along the Romanian Black Sea coast. International Workshop "Natural hazard in the marine area", Bucharest, June 2008. Abstract volume, p. 25-29.
- Panin N., 1997. On the geomorphologic and geologic evolution of the River Danube-Black Sea interaction zone. *GeoEcoMarina* 2, 31-40.
- Panin N., 1999. Danube Delta: Geology, Sedimentology, Evolution. Association des Sédimentologues Français, Maison de la Géologie, Paris, pp.66.
- Panin N., Strehle C., 2006. Late Quaternary Sea-level and Environmental Changes in the Black Sea: A Brief Review of Published Data. *Journal of Archaeomythology* 2(1), 3-16.
- Panin N., Popescu I., 2007. The northwestern Black Sea: climatic and sea-level changes in the Late Quaternary. In: Yanko-Hombach, V., Gilbert, A.S., Panin, N., Dolukhanov, P.M. (Eds.), *The Black Sea Flood Question: Changes in Coastline, Climate and Human Settlement*. Springer, Dordrecht, pp. 387-405.
- Popescu I., De Batist M., Lericolais G., Nouzé H., Poort J., Panin N., Versteeg W., Gillet H., 2006. Multiple bottom-simulating reflections in the Black Sea: Potential proxies of past climate conditions. *Marine Geology* 227, 163-176.
- Ross D.A., Degens E.T., 1974. Recent sediments of the Black Sea. In: E.T. Degens and D.A. Ross (Eds.), *The Black Sea: Geology, Chemistry, and Biology*. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, USA, pp. 183-199.
- Ryan W.B.F., Major C.O., Lericolais G., Goldstein S.L., 2003. Catastrophic flooding of the Black Sea. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 31, pp. 525-554.
- Yanko-Hombach V., Gilbert A.S., Panin N., Dolukhanov P.M. (Eds.), 2007. *The Black Sea Flood Question: Changes in Coastline, Climate and Human Settlement*. Springer, Dordrecht.