

ОТНОСНО ПОТЕНЦИАЛА НА МАЛКИТЕ БЕНТОСНИ ФОРАМИНИФЕРИ КАТО ПАЛЕОЕКОЛОЖКИ ИНДИКАТОРИ: СЪВРЕМЕННИ ПОСТИЖЕНИЯ

Борис Вълчев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
София 1700, България
E-mail: b_valchev@mail.mgu.bg

РЕЗЮМЕ

Настоящата статия има за цел да представи някои от възможностите за палеоекологична интерпретация на данните, получени при изследването на фораминиферни асоциации. Шест критерия се представят за първи път в България: индекс на разнообразието α (индекс на Fisher), триъгълна диаграма за структурата на фораминиферните асоциации (основана на три типа структура на стената - аглутинирана, порцелановидна, хиалинна), съотношението планктонни/бентосни екземпляри в пробите, индекс τ като батиметричен индикатор, толерантност на отделните таксони (предимно на родово ниво) по отношение на различни параметри на средата (батиметрия, температура, соленост, съдържание на калциев карбонат, съдържание на разтворен кислород, характер на субстрата, енергия на средата), наличие на доминиращи видове на фона на видовото разнообразие.

Ключови думи: малки бентосни фораминифери, палеоекологична интерпретация, критерии, параметри.

ВЪВЕДЕНИЕ

През последните четири десетилетия фораминиферите се превръщат в една от основните организмови групи, използвани при интерпретирането на древните морски обстановки. С обновяването на фораминиферната фауна през палеогенския период асоциациите от Тетиския регион придобиват до голяма степен облика на съвременните съобщества (предимно на родово ниво), което позволява използването на моделите на разпространение на съвременните фораминифери за реконструиране на условията на съществуване през по-отдалечени времеви интервали. Прецизността на една такава интерпретация се увеличава с използването на аналози на възможно най-ниско таксономично ниво. Тази възможност обаче намалява с увеличаването на дистанцията във времето поради намаляване на сходството във видовия състав между съвременните и фосилните асоциации.

Съвременните постижения в палеоекологичните изследвания на фораминиферни асоциации налагат една преоценка на ролята на малките бентосни фораминифери в българската микропалеонтология и насочване на изследванията в един подчертано палеоекологичен аспект, тъй като досега в България тази група е използвана изключително за биостратиграфски и таксономични цели. Настоящата статия има за цел да представи някои от възможностите за палеоекологична интерпретация на данните от изучаването на таксономичния състав и структурата на асоциации от малки бентосни фораминифери. За първи път в България се представят шест критерия за такава интерпретация.

КРИТЕРИИ

Най-често използваните критерии при палеоекологичните интерпретации на фораминиферните асоциации са: индекс на разнообразието α (индекс на Fisher), триъгълна диаграма за структурата на фораминиферните асоциации, съотношението планктонни/бентосни екземпляри в пробите, индекс τ като дълбочинен индикатор, толерантност на отделните таксони (главно на родово ниво) по отношение на параметрите на средата (дълбочина, температура, соленост, съдържание на калциев карбонат, съдържание на разтворен кислород, характер на субстрата, енергия на средата), наличие на доминиращи видове на фона на видовото разнообразие.

Индекс на разнообразието α (индекс на Fisher)

Индексът на разнообразието е въведен от Fisher et al. (1943, в Murray, 1991). Изразява съотношението между броя на видовете и броя на екземплярите в пробите:

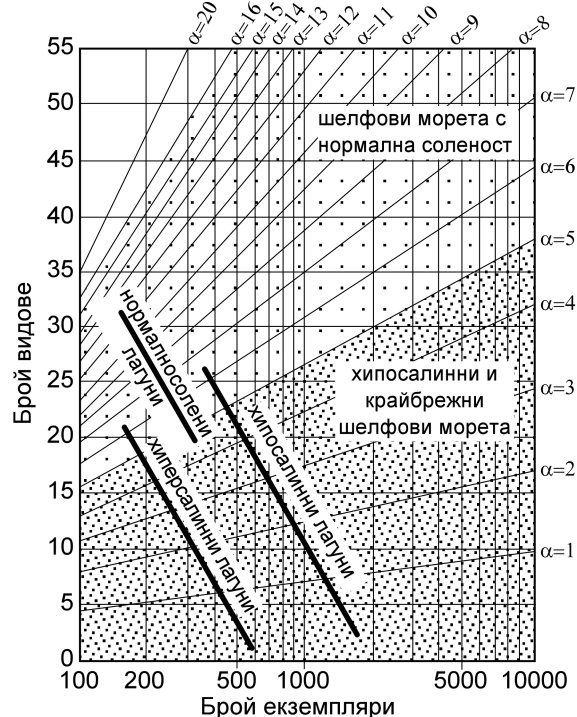
$$\alpha = n_1 \cdot x \quad (1)$$

където x е константа, имаща стойности <1 ; $n_1 = N(1-x)$, където N е броят на екземплярите във всяка проба. За улеснение стойностите му се изчисляват с помощта на графиката, показана на фиг. 1. Ниските стойности на индекса показват силно изменение на някой от параметрите на средата. Трябва да се има предвид и фактът, че видовото разнообразие във фосилните асоциации може да бъде повлияно от тафономичните фактори.

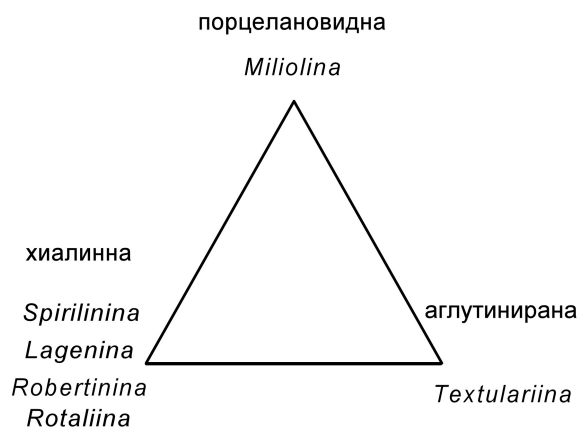
Триъгълна диаграма за структурата на фораминиферните асоциации

Основава се на три типа структура на стената: аглутинирана, порцелановидна и хиалинна, отговарящи на

три подразреда - Textulariina, Miliolina, Rotaliina от класификацията на Loeblich&Tappan (1964). В ревизираната класификация (Loeblich&Tappan, 1988) подразред Rotaliina е поделен на четири нови подразреда - Spirilinina, Lagenina, Robertinina, Rotaliina (фиг. 2);



Фигура 1. Графика, илюстрираща изчисляването на индекса на разнообразието α (по Wright, 1972)



Фигура 2. Триъгълна диаграма за структурата на фораминиферните асоциации, основана на три типа структура на стената (по Murray, 1991)

Съотношение между количеството на планктонните и бентосните екземпляри в пробите

С увеличаването на дълбочината се увеличава процентното присъствие на планктонни екземпляри в пробите. Разбира се, има изключения - много широките шелфове и затворените епиконтинентални морета се характеризират с ниско съдържание на планктонни форми, независимо от дълбочината. С приближаване нивото на карбонатна компенсация (3500-4000 m) започва

постепенно разтваряне на всички варовити черупки и под тези дълбочини не се срещат планктонни екземпляри.

Индекс τ

Въведен е от Gibson (1988) като дълбочинен индикатор по данни от Мексиканския залив. Изчислява се по формулата

$$\tau = b \cdot \%p \quad (2)$$

където b е броят на бентосните видове, а p – броят на черупките от планктонни индивиди във всяка проба. С увеличаване на дълбочината се увеличават и стойностите на τ .

Толерантност на отделните таксони по отношение на някои параметри на средата

Отделните таксони показват различна толерантност по отношение на дълбочината, температурата, солеността, аерацията, съдържанието на калциев карбонат, характера на субстрата, енергията на средата. От голямо значение за палеоекологичните интерпретации са таксони с минимална толерантност към измененията на гореизброените параметри на средата. При интерпретацията се използват данни от съвременни асоциации, както и такива, получени при дълбоководното сондиране в Атлантическия, Тихия и Индийския океан.

Наличие на доминиращи видове на фона на видовото разнообразие

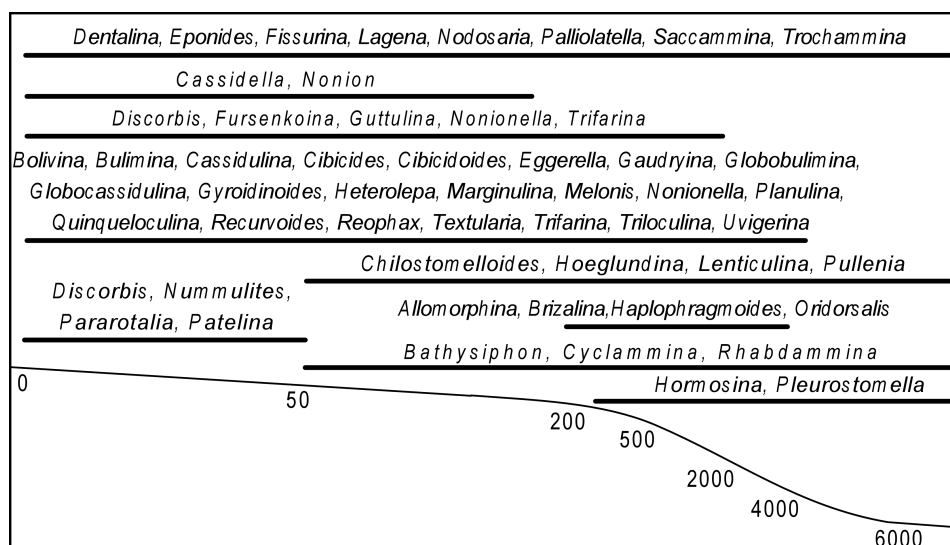
Наличието на силно доминиращ вид на фона на ниско видово разнообразие е индикация за сериозно изменение на някой от параметрите на средата и обратно - липсата на такива видове при високо видово разнообразие е указание за среда със стабилни параметри.

ПАРАМЕТРИ

Параметрите, обект на интерпретация в голяма част от изследванията, са: батиметрия, температура, соленост, съдържание на разтворен кислород, съдържание на калциев карбонат, енергия на средата, характер на субстрата.

Батиметрия

Батиметрията е част от триизмерното пространство и свързаните с него параметри на средата като температура, налягане, светлина, аерация, соленост и т. н. (Gibson, 1988). За интерпретирането и се използват горната и долната граница на батиметричното разпространение на съвременни фораминиферни родове, аналогични на тези от фосилните асоциации. Дълбочинното разпространение на отделните видове е показано на фиг. 3. Голяма стойност имат таксоните с тясно батиметрично разпространение.



Фигура 3. Батиметрично разпространение на съвременни фораминиферни родове (по Ujetz, 1996)

Таксономичното разнообразие на фораминиферните асоциации също дава информация за батиметрията. Стойностите на индекса на Fisher се увеличават с увеличаване на дълбочината. За външния шелф неговите стойности са 5-19, за континенталния склон - 5-25 (Murray, 1991). Най-голямо видово разнообразие се наблюдава в долните части на континенталния склон (Murray, 1976).

В пряка зависимост от батиметрията е и съотношението между планктонните и бентосните екземпляри в пробите.

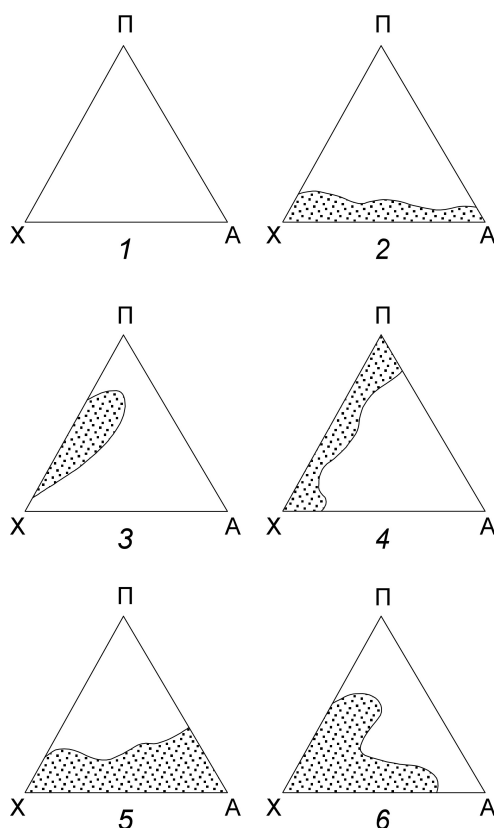
Според Murray (1976) вътрешният шелф се характеризира с присъствието на по-малко от 20% планктонни екземпляри, в средните части на шелфа се установяват 10-60%, във външния шелф - 40-70%, а в горните части на континенталния склон - над 70%. Най-високи стойности са установени в долните части на континенталния склон (около 90% - Boersma, 1983).

Gibson (1988) предлага индекса τ като дълбочинен индикатор. На дълбочина до 40 m стойностите му са по-

малки от 100. Дълбочини в интервала 40-1000 m се характеризират със стойности между 100 и 1000, а на дълбочина до 2000 m - 1000-10 000.

По отношение на структурата на стената на фораминиферните черупки също се наблюдава батиметрична зависимост (фиг. 4). Порцелановидни черупки се срещат по правило във вътрешношelfовата област. Като изключение родовете *Pyrgo* и *Biloculinella* са установени и на абисални дълбочини (Haynes, 1981). С увеличаване на дълбочината се увеличава делът на хиалинните форми. В абисалната област под нивото на карбонатна компенсация са представени само аглутинирани форми.

Съставът на цимента при аглутинираните фораминифери дава информация за дълбочината на седиментонатрупване по отношение нивото на карбонатна компенсация. Асоциация, изградена от аглутинирани форми с варовит цимент (*Gaudryina*, *Dorothia*, *Arenobulimina*, *Textularia*, *Vulvulina*, *Remesella*, *Marssonella*, *Karrerella* - King et al., 1989) индикира седиментонатрупване над това ниво, докато асоциация, състояща се от таксони с неваровит цимент (*Bathysiphon*, *Glomospira*, *Haplophragmoides*, *Ammosphaeroidina*, *Trochammina*) е показател за среда под нивото на карбонатна компенсация.



Фигура 4. Триъгълни диаграми за структурата на съвременни фораминиферни асоциации от различни обстановки (по Brasier, 1980);

- 1 – пресни води; 2 – хипосалинни лагуни;
3 – нормалносолени лагуни и карбонатни платформи;
4 – хиперсалинни лагуни; 5 – шelfови морета;
6 – нормалносолени води от континенталния склон;
типове черупки: П – порцелановидни; Х – хиалинни;

А – аглутинирани

Аглутинираните фораминифери променят морфологията си с изменение на дълбочината. Техните най-дълбоководни представители, образуващи т. нар. “*Rhabdammina* асоциация”, са с проста морфология (Brower, 1965, във Winkler, 1984) - еднокамерни, тръбовидни фрагменти или многокамерни едноредни (*Bathysiphon*, *Rhizammina*, *Saccammina*, *Hyperammina*, *Hormosina*). Батиалните аглутинирани фораминифери показват по-голямо морфоложко разнообразие. И тук доминират таксони с просто устройство, но в асоциацията се срещат и такива с двуредна (*Textularia*), многоредна (*Gaudryina*, *Dorothia*), плоскостриална (*Cribrostomoides*, *Haplophragmoides*), коничностриална (*Trochammina*, *Recurviroides*), хетероморфна черупка (*Spiroplectammina*, *Clavulinoides*) (Berggren, 1984).

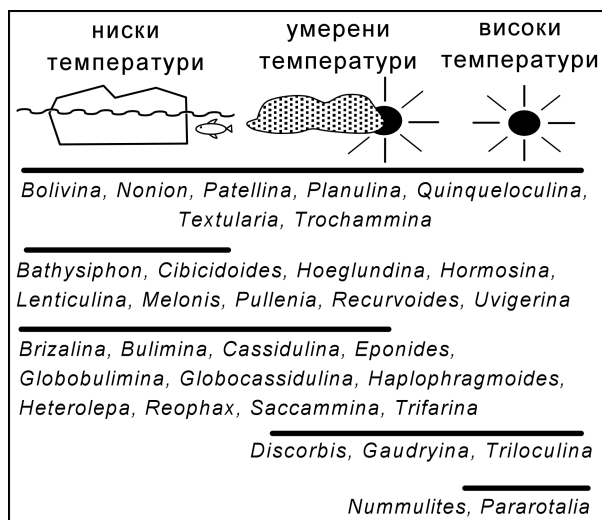
При своите изследвания върху т. нар. “флишки тип” аглутинирани фораминифери от горнопалеоценските седименти в Северно море Jones (1988) установява, че промените в дълбочината засягат не само размера и морфологията на черупката, но и нейния цвят. В най-горните части на континенталния склон (200-500) се наблюдават фино- до средноаглутинирани черупки със средни размери и бял цвят. С увеличаване на дълбочината (500-1000 m) черупките стават по-грубоаглутинирани, а цветът им е кафеникаво-зелен. На дълбочина 1000-1500 m са установени тъмнозелени, средно- до финоаглутинирани форми.

Някои хиалинни таксони също демонстрират зависимост на морфоложките белези от дълбочината. Родовете *Pullenia*, *Bolivina*, *Bulimina*, *Chilostomelloides* са най-типичните примери в това отношение. Бележите, търпящи изменение, са размерът на черупката и характерът на орнаментацията. Род *Bolivina* изгубва своята орнаментация с увеличаване на дълбочината, докато при род *Bulimina* се наблюдава точно обратното. И двата рода увеличават размерите на черупката си (Bandy, 1960, в Boltovskoy et al., 1991). С увеличаване на дълбочината представителите на род *Pullenia* придобиват по-издута черупка (Haynes, 1981), а тези на род *Chilostomelloides* увеличават размерите си (Bandy, 1963). Родовете *Cibicides*, *Cibicides* развиват огънати сутури (Bandy, 1960, в Ujetz, 1996).

Температура

Толерантността на отделни родове спрямо температурните промени е показана на фиг. 5. Температурата оказва влияние върху размерите и морфоложките особености на черупката (Boltovskoy et al., 1991). Тенденцията е с увеличаване на температурата да се увеличава и размерът и поръзността на черупката (Frerichs et al., 1963, в Ujetz, 1996).

Асоциации с високо видово разнообразие са характерни за басейни с висока постоянна температура (Boggs, 1987, в Ujetz, 1996).



Фигура 5. Граници на толерантност на съвременни фораминиферни родове по отношение на температурата (по Ujetz, 1996)

Температурата оказва влияние и върху съдържанието на калциев карбонат във водния стълб. Неговото количество намалява с понижаване на температурата. В такава обстановка се срещат предимно варовити фораминифери с дебелостенна черупка (Boltovskoy, Wright, 1976 в Ujetz, 1996). Наличието на аглутинирани форми с големи черупки и ниско видово разнообразие индикира постоянна температура и слаба циркулация на водните маси (Haynes, 1981).

Соленост

Голямото мнозинство от фораминифери е адаптирано към условия с нормална соленост – около 35‰ (Brasier, 1980). Родове, срещащи се в нормалносолени морски води са *Alabamina*, *Anomalinoidea*, *Bathysiphon*, *Bolivina*, *Bulimina*, *Chilostomelloidea*, *Cibicides*, *Cibicidoides*, *Cyclammina*, *Fursenkoina*, *Gaudryina*, *Globobulimina*, *Haplophragmoides*, *Heterolepa*, *Lagena*, *Lenticulina*, *Nonion*, *Paliolatella*, *Pullenia*, *Recurviroides*, *Reophax*, *Saccammina*, *Textularia*, *Trochammina* (Murray, 1991; Murray et al., 1989; Bolyovskoy et al., 1991). *Bolivina*, *Bulimina*, *Cibicides*, *Globobulimina*, *Nonion* са толерантни и към обстановки с понижена соленост (Murray et al., 1989).

Присъствието на планктонни екземпляри, както и дебелостенни варовити форми в пробите също е индикатор за нормално солени води (Boltovskoy, Wright, 1976, в Ujetz, 1996).

Солеността на водния басейн намира отражение и във видовото разнообразие на асоциациите. Стойности на $\alpha > 5$, индикират нормална соленост (Murray, 1991). Хипосалинни и хиперсалинни условия обуславят ниско видово разнообразие ($\alpha < 5$ – Fig. 1).

Допълнителна информация за солеността дават триъгълните диаграми. При нормалносолени води доминират фораминифери с хиалинна черупка. Хипосалинната среда ($< 32‰$) се характеризира с преобладаване на аглутинирани форми, а указание за

хиперсалинна обстановка ($> 40‰$) е доминиращата роля на таксони с порцелановидна черупка. На фиг. 5 са показани триъгълни диаграми, показващи структурата на асоциации от различни обстановки (по Brasier, 1980).

Наличието на аглутинирани фораминифери с неваровит цимент може да бъде указание за плитководна обстановка с понижена соленост (Haynes, 1981).

Съдържание на разтворен кислород

Добре аерираната среда се характеризира с разнообразна варовита фораминиферна фауна ($\alpha > 5$) и черупки с дебела стена, големи размери и добре развита орнаментация (Murray, 1991; Boltovskoy, Wright, 1976, в Ujetz, 1996). Високо съдържание на разтворен кислород се доказва и с наличието на инфауна. Например родове като *Lenticulina* и *Vaginulinopsis* се характеризират със странично сплесната черупка, притежаваща заострена периферия (често с кил) и имат способността да извършват вертикални движения в мекия и добре аериран субстрат. Според Kaminski et al. (1988) удължените едноредни аглутинирани форми са типични за инфауната. Такива черупки притежават родове като *Hormosina*, *Reophax*, *Subreophax*. Удължени тръбести и разклонени черупки пък са характерни за прикрепените форми (родовете *Bathysiphon*, *Rhizammina*, *Dendrophrya*). Отсъствието на инфауна може да бъде индикатор за анаеробна среда. Асоциации, съществуващи в добре аерирана среда, се характеризират с преобладаване на сферични и лещовидни форми, докато в такива, обитаващи нискокислородна, среда доминират удължени и сплеснати черупки (Bernhard, 1986).

Количеството на разтворения кислород може да бъде установено по наличието на определени родове в асоциацията. Така например родовете *Bolivina*, *Bulimina*, *Cyclammina*, *Haplophragmoides*, *Bathysiphon* съществуват в среда с понижено съдържание на разтворен кислород (Boltovskoy, Wright, 1976 в Ujetz, 1996).

Наличието или отсъствието на орнаментация при някои родове също е в зависимост от кислородното съдържание. Например присъствието на орнаментирани представители на родовете *Bulimina*, *Globobulimina*, *Chilostomelloidea* е указание за малки количества разтворен кислород. Фораминиферни черупки с големи пори показват адаптация към нискокислородна среда (Perez-Cruz, Machain-Castillo, 1990).

Видовото разнообразие също дава информация за количествата на разтворения кислород. Асоциации, характерни за среда с ниско съдържание на кислород, показват ниско видово разнообразие ($\alpha < 7$) с доминираща роля на 2-3 вида, които съставляват над 80% от общия брой екземпляри в пробите.

Съдържание на калциев карбонат

В съвременните океани асоциациите, изградени предимно от аглутинирани фораминифери, са характерни за условия на понижена соленост или дълбоководна, ненаситена с калциев карбонат среда (Haynes, 1981).

Наличието на асоциация от варовити фораминифери с високо видово разнообразие е указание за високо съдържание на калциев карбонат. Corliss (1979) предполага, че повишената разтворимост на калциевия карбонат на големи дълбочини е причина за преобладаването на екземпляри с малки размери.

Характер на субстрата

Влиянието на субстрата върху морфологията на черупките се наблюдава най-добре при аглутинираните фораминифери и при форми, водещи "заседнал" начин на живот. Структурата на стената при аглутинираните фораминифери е много характерен белег, даващ указание за характера на субстрата. Финоаглутинирани форми индикират финозърнест субстрат и обратно - присъствието на грубоаглутинирани черупки показва наличието на грубозърнести седименти (Hada, 1957 в Boltovskoy et al., 1991). От своя страна различията в структурата на стената водят и до различия във формата на черупката при един и същи таксон (Boltovskoy et al., 1991).

Присъствието на инфауна - лещовидни или удължени страничносплеснати форми, е индикатор за мек субстрат, позволяващ на тези организми да извършват вертикални движения в търсене на храна. Тинестоалевритовите субстрати са богати на органични частици и са атрактивни за бентосните фораминифери. В такива условия съществуват големи популации. В тях много от екземплярите са с тънкостенна, крехка и удължена черупка (Brasier, 1980). Твърдият субстрат от своя страна се характеризира с по-малки популации, в които фораминиферните черупки са по-дебелостенни и по-силно орнаментирани.

Наличието на прикрепващи се форми също е указание за твърд субстрат (Murray, 1991). Характерни родове прикрепени фораминифери са *Planulina*, *Patelina*, *Textularia*, *Cibicides*, *Cibicidoides*, *Gaudryina*, *Heterolepa*, *Bathysiphon*. За коничноспиралните прикрепени форми е характерна плоска или леко вдлъбната спирална страна.

Енергия на средата

Изследванията на съвременните аглутинирани фораминифери от т. нар. "флишки тип" или "А тип" от северозападните части на Атлантическия океан показват, че финоаглутинирани черупки с марки размери и крехка конструкция са характерни за среда с ниска енергия и финозърнест субстрат. Обратно, грубоаглутинирани форми с компактна черупка се срещат в обстановки с висока енергия (Schroeder, 1986, в Jones, 1988). Jones (1988) използва този модел при палеоекологичната интерпретация на асоциациите от аглутинирани фораминифери от горнопалеоценските седименти в Северно море. Резултатите показват, че финоаглутинирани форми с малки размери (*Rzehakina*, *Rhizammina*) са характерни за нискоенергийна среда, която в този случай е установена на дълбочина 1000-1500 m. Грубоаглутинирани форми с компактна черупка (*Recurvoides*, *Psammosphaera*, *Bathysiphon*, *Hyperammina*) са установени на дълбочина 500-1000 m и те показват наличието на високоенергийна среда.

Видовото разнообразие също е индикатор за енергията на средата. Наличието на високо видово разнообразие е указание за дълбоководна среда със стабилна ниска енергия (Murray, 1979).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представените критерии, както и възможните интерпретации на параметрите на средата показват, че малките бентосни фораминифери притежават значителен потенциал за палеоекологична интерпретация на данните от анализа на таксономичния състав и структурата на фораминиферни асоциации. Значението на интерпретациите се увеличава значително при интегриране с палеоекологични данни от други групи бентосни организми, ихнофосили, както и със седиментоложки анализи, данни от секвентната и събитийната стратиграфия, фациалния анализ, геохимични и минераложки данни.

Представените тук възможности за палеоекологична интерпретация се натъкват на известни ограничения: 1) прецизността на интерпретацията намалява с увеличаването на дистанцията във времето поради намаляване на сходството във видовия състав между съвременните и фосилните асоциации; 2) използването на изброените по-горе критерии се основава на количествени методи, а те са неприложими при изследване на фораминиферни асоциации в дюншлифи.

ЛИТЕРАТУРА

- Bandy, O. L., 1963. Larger living foraminifera of the continental boarderland of southern California.- *Cush. Found. For. Res.*, 14, 121-126.
- Berggren, W. A., 1984. Cenozoic Deep Water Benthic Foraminifera: a review of major developments since Benthonics'75.- In: Oertli, H. J., (ed.), *Benthos'83, Second International Symposium on Benthic Foraminifera* (Pau, 1983), 41-43.
- Bernhard, J. M., 1986. Characteristic assemblages and morphotypes of benthic foraminifera from anoxic, organic-rich deposits: Jurassic to Holocene.- *J. For. Res.*, 16, 3, 207-215.
- Boersma, A., 1983. Foraminifera.- In: Haq, B. U., A. Boersma (eds.), *Introduction to Marine Micropaleontology*, Elsevier Biomedical, 19-78.
- Boltovskoy, E., D. B. Scott, F. S. Medioli, 1991. Morphological variations of benthonic foraminiferal tests in response to changes ecological parameters: a review.- *J. Paleont.*, 65, 2, 175-184.
- Brasier, M., 1980. *Microfossils*. George Allen&Unwin, 193 p.
- Corliss, B. H., 1979. Response of deep-sea benthonic foraminifera to development of the psychrosphere near the Eocene/Oligocene boundary.- *Nature*, 282, 63-65.
- Gibson, T. G., 1988. Assemblage characteristics of modern benthic foraminifera and application to environmental

- interpretation of Cenozoic deposits of Eastern North America.- *Rev. Paleobiol., col. spec.*, 2, 777-787.
- Haynes, J. R., 1981. *Foraminifera*. Macmillan Publishers Ltd. London, 433p.
- Jones, G. D., 1988. A Paleocological Model of Late Paleocene "Flysh-Type" Agglutinated Foraminifera Using the Paleoslope Transect Approach, Viking Graben, North Sea.- *Abh. Geol. Bundesanstalt*, 41, 143-153.
- Kaminski, M. A., F. W. Gradstein, W. A. Berggren, S. Geroch, J. P. Beckman, 1988. Flysh-type agglutinated foraminiferal assemblages from Trinidad.- In: Rogl, F., F. M. Gradstein (eds.), Second Workshop on Agglutinated Foraminifera, Viena, 1986. *Abh. Geol. Bundesanstalt*, 41, 155-227.
- King, C., H. W. Bailey, C. Burton, D. King, 1989. Cretaceous of the North Sea.- In: Jenkins, D. G., J. W. Murray (eds.), *Stratigraphical Atlas of Fossil Foraminifera*, British Micropaleontological Society Series, 372-418.
- Loeblich, A. R., H. Tappan, 1964. Sarcodina, chiefly "Thecamoebians" and Foraminifera.- In: *Treatise on invertebrate paleontology: Prosita 2, C*, 1-900.
- Loeblich, A. Jr., H. Tappan, 1988. *Foraminiferal genera and their classification*. New York, Van Nostrand Reinhold C. 970p.
- Murray, J. W., 1976. A method of determining proximity of marginal seas to an ocean.- *Mar. Geol.*, 22, 103-119.
- Murray, J. W., 1991. *Ecology and Paleocology of Benthic Foraminifera*. Longman Scientific&Technical., 397p.
- Murray, J. W., D. Curry, J. R. Haynes, C. King, 1989. Paleogene.- In: Jenkins, D. G., J. W. Murray (eds.), *Stratigraphical Atlas of Fossil Foraminifera*, British Micropaleontological Society Series, 490-536.
- Perez-Cruz, L. L., M. L. Machain-Castillo, 1990. Benthic foraminifera of the oxygen minimum zone, continental shelf of the gulf of Tehuantepec, Mexico.- *J. For. Res.*, 20, 4, 312-325.
- Ujetz, B., 1996. Micropaleontology of Paleogene deep water sediments, Haute-Savoie, France.- *Publ. Dep. Geol. paleontol. Univ. Geneve*, 22, 149p.
- Winkler, W., 1984. *Rhabdammina*-fauna: What relation to turbidites? Evidence from the Gurnigel-Schlieren Flysh.- In: Oertli, H. J., (ed.), *Benthos'83, Second International Symposium on Benthic Foraminifera (Pau, 1983)*, 611-617.
- Wright, C. A., 1972. Foraminiferids from the London Clay at Lower Swanwick and their paleoecological interpretation.- *Proc. Geol. Ass.*, 83, 3, 337-348.

Препоръчана за публикуване от
катедра "Геология и палеонтология", ГПФ

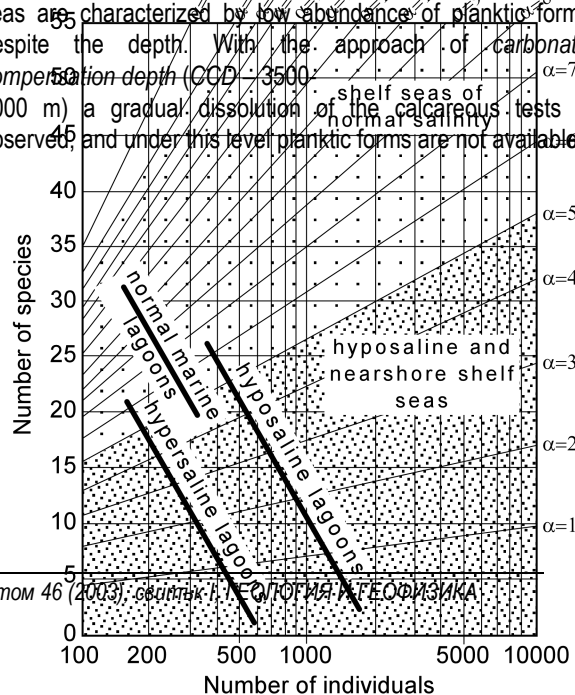
University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Department of Geology and Paleontology, 1700, Sofia, Bulgaria
E-mail: b_valchev@mail.mgu.bg

Key words: benthic foraminifera, paleoecological interpretation, criteria, parameters.

The recent advances in paleoecological investigations of foraminiferal assemblages made us reassess the significance of small benthic foraminifera in Bulgarian micropaleontology and direct the investigations in a paleoecological aspect, because till now in Bulgaria this group has been used for biostratigraphical and taxonomical purposes only. The present article aims to introduce some of the possible ways of paleoecological interpretation of data obtained from the study of taxonomical composition and structure of small benthic foraminiferal assemblages. Six criteria are first introduced in Bulgaria.

The following criteria are usually used in the paleoecological interpretations: diversity index α (Fisher-index), triangular plot for the foraminiferal assemblage structure, planktic/benthic (P/B) ratio, *tau*-index as bathymetrical indicator, the tolerance of the taxa (mainly at generic level) with respect to some environmental parameters (bathymetry, temperature, salinity levels, calcium carbonate availability, dissolved oxygen levels, substrate conditions, water energy), occurrence of dominant species in relation to species diversity.

With the increase of the depth the percent abundance of planktic individuals in the samples increases. However there are exceptions –very wide shelves and enclosed epicontinental seas are characterized by low abundance of planktic forms despite the depth. With the approach of carbonate compensation depth (CCD – 3500 m) a gradual dissolution of the calcareous tests is observed, and under this level planktic forms are not available.



availability, water energy, substrate conditions. Of great importance are taxa with minimal tolerance of changes in the above mentioned parameters. Data from modern assemblages, as well as data, obtained during the deep sea drilling in the Atlantic, Pacific and Indian Ocean are used in the interpretations.

Occurrence of Dominant Species in Relation to Species Diversity

The availability of strong dominance of some species in relation to low species diversity suggests deviation from the norm of some of the parameters. The absence of dominant species in relation to high species diversity indicates stable environmental parameters.

PARAMETERS

The parameters that are interpreted in the majority of the investigations are bathymetry, temperature, salinity levels, dissolved oxygen levels, calcium carbonate availability, water energy, substrate conditions.

Bathymetry

Bathymetry is a part of three dimensional space and the parameters related with it – temperature, pressure, light, salinity, etc. (Gibson, 1988). Its interpretation is based on the comparison of upper and lower tolerance depth limits of modern foraminiferal genera, analogous to fossil ones. The depth limits of particular genera are shown on Fig. 3. Of great importance are taxa showing narrow bathymetrical range.

Species diversity is also informative for bathymetry. The values of Fisher-index increase as the depth increases. Outer shelf is characterized by $\alpha=5-19$, the slope – by $\alpha=5-25$. The highest values of α demonstrates the lowermost slope (Murray, 1976).

Planktic/benthic (P/B) ratio depends also on the depth. According to Murray (1976) inner shelf is characterized by up to 20% planktic individuals, the middle shelf – 10-60 %, the outer shelf – 40-70%, and the upper slope - >70%. The highest values are established in the lowermost slope (about 90% - Boersma, 1983).

Gibson (1988) introduced *tau*-index as bathymetrical indicator. Depths up to 40 m are characterized by *tau* <100, depths between 40 and 1000 m are marked by values between 100-1000, and depths up to 2000 m – by values between 1000-10000.

Wall texture of the foraminiferal tests is connected with the bathymetry (Fig. 4). Porcelaneous tests as a rule are typical for the inner shelf. As an exception the genera *Pyrgo* and *Biloculinella* have been established in abyssal depths (Haynes, 1981). The percent abundance of hyaline forms increase as the depth increases. In the abyssal depths below the CCD only agglutinated forms are presented.

Figure 1. Graph illustrating the calculation of the diversity index α (after Wright, 1972)

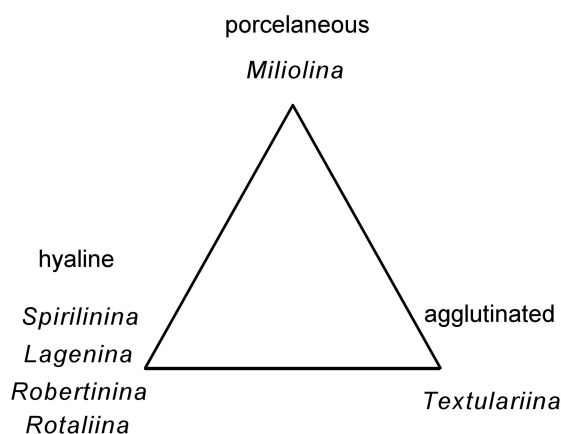


Figure 2. Triangular plot about foraminiferal assemblage structure based on three types wall texture (after Murray, 1991)

Tau-index

It was introduced as bathymetrical indicator by Gibson (1988) based on data obtained from the Gulf of Mexico. It could be calculated using the formula:

$$\tau = b \cdot \%p \quad (2)$$

where *b* is the number of benthic species, and *p* – the number of planktic individuals in a sample. With the increase of the depth the values of *tau* increase.

Tolerance of the Taxa with Respect to Some Environmental Parameters

Particular taxa demonstrate different tolerance of depth, temperature, salinity, aeration, calcium carbonate and silica

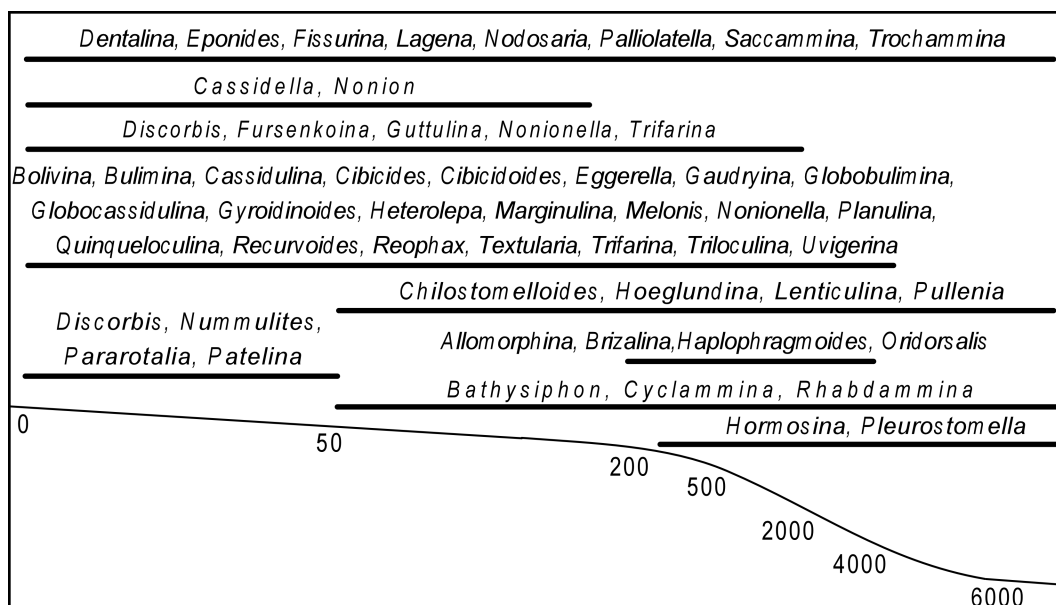


Figure 3. Bathymetrical distribution of modern foraminiferal genera (after Ujetz, 1996)

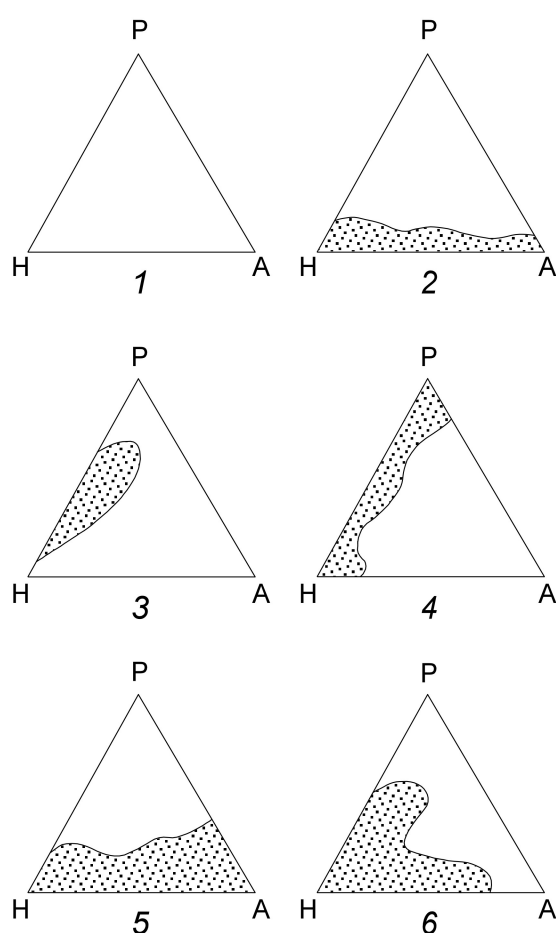


Figure 4. Triangular plots showing living foraminiferal assemblage structures from different environments (after Brasier, 1980)

1 - fresh waters; 2 - hyposaline lagoons; 3 - normal marine lagoons and carbonate platforms; 4 - hypersaline lagoons;

5 - shelf seas; 6 - normal marine continental slope waters; types of tests: P - porcelaneous; X - hyaline; A - agglutinated

The composition of the cement of agglutinated foraminifers indicates the deposition depth in relation to CCD. Assemblages composed of agglutinants with calcareous cement (*Gaudryina*, *Dorothyia*, *Arenobulimina*, *Textularia*, *Vulvulina*, *Remesella*, *Marssonella*, *Karrierella* - King et al., 1989) indicates deposition above CCD, while assemblage comprised of taxa with noncalcareous cement (*Bathysiphon*, *Glomospira*, *Haplophragmoides*, *Ammosphaeroidina*, *Trochammina*) is a marker for sedimentation below CCD.

Agglutinated foraminifers change their test morphology with the depth changes. Their most deep-water representatives, comprising the so called "*Rhabdammina*-fauna" show simple test morphology (Brower, 1965, in Winkler, 1984) – unicellular, tube-like fragments, or multicellular uniserial (*Bathysiphon*, *Rhizammina*, *Saccamina*, *Hyperammina*, *Hormosina*). Bathyal agglutinants demonstrate higher morphological diversity. The assemblage is dominated by taxa with simple morphology, but there could be observed forms with biserial (*Textularia*), multiserial (*Gaudryina*, *Dorothyia*), planispiral (*Cribratoloides*, *Haplophragmoides*), trochospiral (*Trochammina*, *Recurvoides*), heteromorphous (*Spiroplectammina*, *Clavulinoides*) tests (Berggren, 1984).

During the investigations on the so-called "flysh-type" agglutinated foraminifera from the Paleocene of the North Sea, Jones (1988) established that the depth changes influence not only the test size and morphology, but the test colour. In the uppermost slope (200-500 m) finely to middle agglutinated middle sized white tests were observed. With the increase of the depth (500-1000 m) the tests become more coarsely agglutinated, large-sized and brownish-green in colour. At

depths between 1000 and 1500 m middle to finely agglutinated, small-sized, dark green forms were established.

The morphology of some hyaline genera also demonstrate dependance on the depth. Typical examples are *Pullenia*, *Bolivina*, *Bulimina*, *Chilostomelloides*. The most changeable features are the test size and the oramentation. *Bolivina* loses its ornamentation as the depth increases, while *Bulimina* become more ornamented. Both genera increase their test size (Bandy, 1960, in Boltovskoy et al., 1991). With the increase of the depth the degree of inflation of *Pullenia* increases (Haynes, 1981), while *Chilostomelloides* increases its test size (Bandy, 1963). *Cibicidoides*, *Cibicides* develop inflected sutures (Bandy, 1960, in Ujetz, 1996).

Temperature

The tolerance of selected taxa of the changes of temperature is shown on Fig. 5.

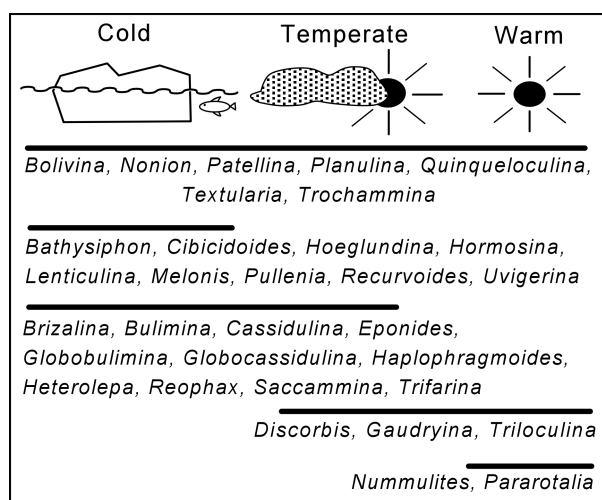


Figure 5. Distribution of living foraminiferal genera according to temperature (after Ujetz, 1996)

Temperature influences the test size and test morphology (Boltovskoy et al., 1991). The trends are towards an increase of the test size and the test porosity with the increase of temperature (Frerichs et al., 1963, in Ujetz, 1996).

Assemblages with high species diversity are typical for basins with constant high temperature (Boggs, 1987, in Ujetz, 1996).

Temperature influences also calcium carbonate availability in the water column. Its values decrease as the temperature decreases. Such an environment is characterized mainly by calcareous thick-walled foraminifers (Boltovskoy, Wright, 1976 in Ujetz, 1996). The presence of large-sized agglutinants and low species diversity indicates constant temperature and stagnant water conditions (Haynes, 1981).

Salinity Levels

The vast majority of foraminifers is adapted to normal marine conditions – about 35‰ (Brasier, 1980). Genera flourishing in normalsalihe waters are the following: *Alabama*, *Anomalinoidea*, *Bathysiphon*, *Bolivina*, *Bulimina*,

Chilostomelloides, *Cibicides*, *Cibicidoides*, *Cyclammina*, *Fursenkoina*, *Gaudryina*, *Globobulimina*, *Haplophragmoides*, *Heterolepa*, *Lagena*, *Lenticulina*, *Nonion*, *Paliolatella*, *Pullenia*, *Recurvoides*, *Reophax*, *Saccammina*, *Textularia*, *Trochammina* (Bolyovskoy et al., 1991; Murray, 1991; Murray et al., 1989). *Bolivina*, *Bulimina*, *Cibicides*, *Globobulimina*, *Nonion* are tolerant of both normalsaline and hyposaline environments (Murray et al., 1989).

The presence of planktic individuals as well as thick-walled calcareous forms in the samples also indicates normal marine environment (Boltovskoy, Wright, 1976, in Ujetz, 1996).

Salinity levels influence the species diversity. Values of $\alpha > 5$ suggest normal salinity (Murray, 1991). Hyposaline and hypersaline conditions are marked by low species diversity ($\alpha < 5$ – Fig. 1).

Additional data about the salinity provide triangular plots. Normal marine environments are dominated by hyaline-test foraminifers. Hyposaline realms ($< 32‰$) are marked by abundant agglutinants, while hypersaline ones ($> 40‰$) – by abundant porcelaneous tests. On Fig. 5 are shown triangular plots demonstrating assemblage structures from different environments (after Brasier, 1980).

The presence of agglutinated forms with noncalcareous cement could suggests shallow-water environment with low salinity (Haynes, 1981).

Dissolved Oxygen Levels

Well aerated environment is characterized by diverse calcareous foraminiferal fauna ($\alpha > 5$), thick-walled large-sized and ornamented tests (Murray, 1991; Boltovskoy, Wright, 1976, in Ujetz, 1996). High oxygenated realm is also marked by the presence of infauna. For example genera like *Lenticulina* and *Vaginulinopsis* are characterized by compressed tests with angulate periphery (often keeled) which are adapted to “slice” through well aerated substrate. According to Kaminski et al. (1988) elongate uniserial agglutinants are typical for the infauna. Such tests have genera like *Hormosina*, *Reophax*, *Subreophax*. Elongate tube-like and branched tests are characteristic for attached forms (*Bathysiphon*, *Rhizammina*, *Dendrophrya*). The absence of infauna could indicate anaerobic environment. Assemblages flourishing in well aerated realm are characterized by spherical and lenticular forms while low oxygenated realm are dominated by elongate and flattened forms (Bernhard, 1986).

The dissolved oxygen level could be established by the presence of definite genera in the assemblage. For example *Bolivina*, *Bulimina*, *Cyclammina*, *Haplophragmoides*, *Bathysiphon* flourish in low oxygenated environment (Boltovskoy, Wright, 1976 in Ujetz, 1996).

The presence or absence of ornamentation is also influenced by the oxygen levels. For example the presence of ornamented individuals of *Bulimina*, *Globobulimina*, *Chilostomelloides* suggests low dissolve oxygen levels. Foraminiferal tests with large-sized pores are adapted to low oxygenated environment (Perez-Cruz, Machain-Castillo, 1990).

Species diversity is also informative for the dissolved oxygen levels. Assemblages, characteristic for low oxygenated environment demonstrate low species diversity ($\alpha < 7$) and they are dominated by 2-3 species comprising over 80% of the total number of individuals in the samples.

Calcium carbonate Availability

In recent seas assemblages dominantly composed of agglutinated foraminifers are characteristic of low salinity levels or deep-sea bottoms undersaturated in calcium carbonate (Haynes, 1981). The occurrence of microfaunas comprised of calcareous forms and characterized by high species diversity indicates high level of calcium carbonate-availability. Corliss (1979) suggested that the high solubility of calcium carbonate at great depths is one of the reasons responsible for the prevalence of small-sized specimens.

Substrate conditions

The influence of substrate on the test morphology is particularly important in agglutinated and sedentary forms. The wall texture in agglutinated foraminifers is characteristic feature for the substrate conditions. Finely agglutinated forms indicate fine grained substrate, while the coarsely agglutinated tests are typical for coarse grained sediments (Hada, 1957 в Boltovskoy et al., 1991). The differences in wall texture lead to differences in the test-shape in one and the same taxon (Boltovskoy et al., 1991).

The occurrence of infauna – lenticular or elongate compressed forms indicates a soft substrate allowing these forms to “slice” through sediment to obtain nutrients. Silty and muddy substrates are rich in organic debris and therefore attractive to foraminifers. Such conditions support large populations. Many of their species are thin-walled, delicate and elongate forms (Brasier, 1980). The hard substrate support sparser populations and foraminifers from these conditions are thick-walled and heavily ornamented.

The occurrence of attached forms also suggests hard substrate (Murray, 1991). Characteristic genera of attached foraminifers are *Planulina*, *Patelina*, *Textularia*, *Cibicides*, *Cibicoides*, *Gaudryina*, *Heterolepa*, *Bathysiphon*. Trochospiral attached forms have flat or slightly concave spiral side.

Water Energy

The study of modern agglutinated foraminifers of the so-called “flyh-type” or “A-type” from the Northwestern Atlantic showed that finely agglutinated small-sized and delicate tests are characteristic for low energy conditions and fine grained substrate. Conversely, coarse grained robust forms occur in high energy conditions (Schroeder, 1986, в Jones, 1988). Jones (1988) used this pattern in the paleoecological interpretation of the Upper Paleocene agglutinated assemblages from the North Sea. The results revealed that finely agglutinated small-sized forms (*Rzehakina*, *Rhizammina*) are characteristic for low energy conditions, which in this case were established at 1000-1500 m depth. Coarsely agglutinated robust forms (*Recurvoides*, *Psammospaera*, *Bathysiphon*,

Hyperammina) were established at 500-1000 m depth and they indicate highly energy environment.

Species diversity is another one indicator for the water energy. The occurrence of high species diversity suggests deep-water environment with stable low energy (Murray, 1979).

CONCLUSIONS

The presentation of the criteria and the possible ways of interpretation of the environmental parameters showed that small benthic foraminifera have considerable potential for paleoecological interpretation of data obtained from the study of the taxonomical composition and structure of foraminiferal assemblages. The significance of the interpretations increases in case of integration with paleoecological data from other groups benthic organisms, ichnofossils, as well as data from sequence and event stratigraphy, facies analysis, geochemical and mineralogical data.

The possible ways of paleoecological interpretations introduced in the present article come across some restrictions: 1) the precision of the interpretations decreases as the time distance increases because of the decrease of the resemblance between the species composition of modern and fossil assemblages; 2) the above mentioned criteria are based on quantitative methods which are not applicable in foraminiferal investigations in thin sections.

REFERENCES

- Bandy, O. L., 1963. Larger living foraminifera of the continental boarderland of southern California.- *Cush. Found. For. Res.*, 14, 121-126.
- Berggren, W. A., 1984. Cenozoic Deep Water Benthic Foraminifera: a review of major developments since Benthonics'75.- In: Oertli, H. J., (ed.), *Benthos'83, Second International Symposium on Benthic Foraminifera* (Pau, 1983), 41-43.
- Bernhard, J. M., 1986. Characteristic assemblages and morphotypes of benthic foraminifera from anoxic, organic-rich deposits: Jurassic to Holocene.- *J. For. Res.*, 16, 3, 207-215.
- Boersma, A., 1983. Foraminifera.- In: Haq, B. U., A. Boersma (eds.), *Introduction to Marine Micropaleontology*, Elsevier Biomedical, 19-78.
- Boltovskoy, E., D. B. Scott, F. S. Medioli, 1991. Morphological variations of benthonic foraminiferal tests in respons to changes ecological parameters: a review.- *J. Paleont.*, 65, 2, 175-184.
- Brasier, M., 1980. *Microfossils*. George Allen&Unwin, 193 p.
- Corliss, B. H., 1979. Response of deep-sea benthonic foraminifera to development of the psychrosphere near the Eocene/Ologocene boundary.- *Nature*, 282, 63-65.
- Gibson, T. G., 1988. Assemblage characteristics of modern benthic foraminifera and application to environmental interpretation of Cenozoic deposits of Eastern North America.- *Rev. Paleobiol., col. spec.*, 2, 777-787.

- Haynes, J. R., 1981. *Foraminifera*. Macmillan Publishers Ltd. London, 433p.
- Jones, G. D., 1988. A Paleocological Model of Late Paleocene "Flysh-Type" Agglutinated Foraminifera Using the Paleoslope Transect Approach, Viking Graben, North Sea. In: Rogl, F., F. M. Gradstein (eds.), *Second Workshop on Agglutinated Foraminifera, Vienna, 1986*. Abh. Geol. Bundesanstalt, 41, 143-153.
- Kaminski, M. A., F. W. Gradstein, W. A. Berggren, S. Geroch, J. P. Beckman, 1988. Flysh-type agglutinated foraminiferal assemblages from Trinidad.- In: Rogl, F., F. M. Gradstein (eds.), *Second Workshop on Agglutinated Foraminifera, Vienna, 1986*. Abh. Geol. Bundesanstalt, 41, 155-227.
- King, C., H. W. Bailey, C. Burton, D. King, 1989. Cretaceous of the North Sea.- In: Jenkins, D. G., J. W. Murray (eds.), *Stratigraphical Atlas of Fossil Foraminifera*, British Micropaleontological Society Series, 372-418.
- Loeblich, A. R., H. Tappan, 1964. Sarcodina, chiefly "Thecamoebians" and Foraminifera.- In: *Treatise on invertebrate Paleontology: Prosa 2, C*, 1-900.
- Loeblich, A. Jr., H. Tappan, 1988. *Foraminiferal genera and their classification*. New York, Van Nostrand Reinhold C. 970p.
- Murray, J. W., 1976. A method of determining proximity of marginal seas to an ocean.- *M. Geol.*, 22, 103-119.
- Murray, J. W., 1991. *Ecology and Paleocology of Benthic Foraminifera*. Longman Scientific & Technical., 397p.
- Murray, J. W., D. Curry, J. R. Haynes, C. King, 1989. Paleogene.- In: Jenkins, D. G., J. W. Murray (eds.), *Stratigraphical Atlas of Fossil Foraminifera*, British Micropaleontological Society Series, 490-536.
- Perez-Cruz, L. L., M. L. Machain-Castillo, 1990. Benthic foraminifera of the oxygen minimum zone, continental shelf of the gulf of Tehuantepec, Mexico.- *J. For. Res.*, 20, 4, 312-325.
- Ujetz, B., 1996. Micropaleontology of Paleogene deep water sediments, Haute-Savoie, France.- *Publ. Dep. Geol. paleontol. Univ. Geneve*, 22, 149p.
- Winkler, W., 1984. *Rhabdammina*-fauna: What relation to turbidites? Evidence from the Gurnigel-Schlieren Flysh.- In: Oertli, H. J., (ed.), *Benthos'83, Second International Symposium on Benthic Foraminifera (Pau, 1983)*, 611-617.
- Wright, C. A., 1972. Foraminiferids from the London Clay at Lower Swanwick and their paleocological interpretation.- *Proc. Geol. Ass.*, 83, 3, 337-348.

*Recommended for publication by Department
of Geology and Paleontology, Faculty of Geology and Prospecting*