

Трудове на Института по океанология

Том 2. Варна 1998

Българска академия на науките

ПОДВОДНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ВЪРХУ СТРУКТУРАТА И СЪСТАВА НА СУСПЕНДИРАНОТО ВЕЩЕСТВО В ЗОНАТА НА БЪЛГАРСКИЯ ШЕЛФ

Александър С. Стоянов, Лидия Д. Михова, Илия Ив. Щирков

Институт по океанология, БАН (Варна)

Основен преносител на суспендирано вещество с алохтонен и автохтонен произход на българския шелф са теченията с доминираща южна посока (Рождественский, 1958, 1986). В сравнение с 1981 г. (Dimitrov, Stoyanov, Stereva, 1981) общото му съдържание в зоната на теченията през 1990 г. се е увеличило 2 пъти (Михова, 1991). Установена е тенденция към изтегляне на неговите максимуми от средните в придънните хоризонти. Това е съпроводено с нарастване интензивността на седиментационния процес и изменения в структурата и състава на суспендираното вещество, вследствие еутрофикацията на района. Увеличена е биогенната му компонента, което при визуалните наблюдения от подводния апарат се установява като интензивен "планктонен сняг" във вид на агрегати. Изследванията показват, че през активния биологичен сезон (пролетно-летния) съдържанието на органичен въглерод в повърхностните води на северния български шелф съставлява средно 30% от общото количество суспендирано вещество, на дълбочина 35 m - 47%, а на 70 m - 56%. В сравнение с 1988 г. съдържанието на Сорг в слоя 0 - 1 cm на утайките

на същия район, до 10 мили от брега, е нараснало 7 пъти (Михова, 1991).

Промените в структурата и състава на суспендираното вещество, са съпроводени и с изменения в биогеохимичния цикъл на двата главни биогенни елемента азот и фосфор. За последните 13 години съдържанието на нитратен азот по вертикала е нараснало (Рождественский, 1986, 1990, 1992; Stoyanov, 1993).

Разтвореният кислород в повърхностните води за същия период, поради интензивната фотосинтеза, се е увеличил с 0,3 ml/l, докато на дълбочини от 10 до 25 m е намалял съответно с 0,47 и 0,26 ml/l, вследствие окисление на органичните суспензии (Stoyanov, 1992). Увеличение на наситеността с кислород на горния, суфотичен слой и чувствителното му намаление под него, се отбелязва в среднените резултати за 1986 - 1990 г. и от Рождественский (1992). Установено е преобладаване на органичната форма на фосфора над минералната, което е съпроводено със силно намаление на фосфатите (Stoyanov, 1993).

Тези закономерности се установяват и в кислородния слой на западната дълбо-

ководна зона на морето, което е показател за настъпилите изменения в биогеохимичния цикъл на фосфора и азота. Те се изразяват в разширяване на минерализацията на фосфорорганичните съединения в дълбочина и изтегляне на процесите на нитрификация от придънните в средните хоризонти на пелагиала, вследствие увеличената биопродуктивност на басейна (Stoyanov, 1992).

Това поставя с особена острота проблема за изясняване връзката между антропогенната еутрофикация и биогеохимичния цикъл на органичното вещество в един анаеробен басейн, какъвто е Черно море.

От проведените сезонни биогеохимични изследвания на българския шелф през 1990 г. са избрани резултатите на две станции на профила на н.Калиакра, отстоящи на различно разстояние от брега и с различни дълбочини. Станция 1 е с координати 43° 22,9 N, 28° 35,6 E и дълбочина 50 m, а станция 2 с координати 43° 21,4 N, 28° 41,7 E и дълбочина 72 m.

Като характерни за продукцията и трансформацията на органичното вещество в морската вода са показани резултатите от лятото и есента, с утвърдените в океанографската практика месеци август и ноември.

Изследванията бяха проведени с подводния обитаем апарат РС-8, обезпечаван от НИК "Академик" на Института по океанология към БАН. Наблюденията на видовия състав на макрозоопланктона бяха извършени при спускане на апарата през светлата част от деня. В статията е използван като съпътстващ променящата се по вертикала структура на "планктонния сняг".

Изследвани бяха биогеохимичните параметри на системата вода-суспендирано вещество, от които като показатели за изясняване връзката между антропогенната еутрофикация и динамика на органичното вещество са изведени два от главните му елемента - въгле-

род и фосфор.

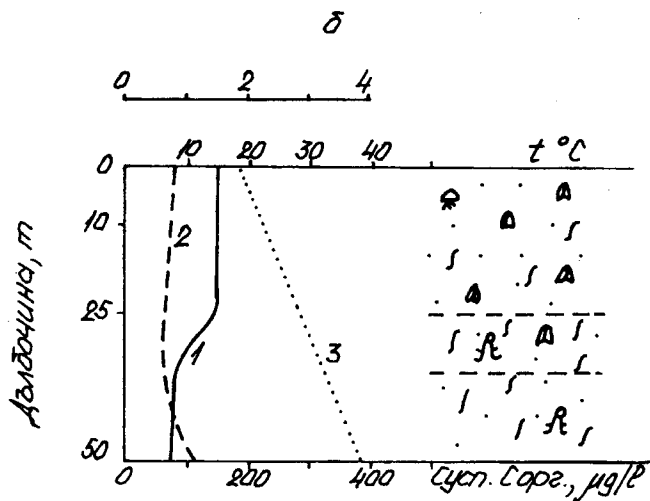
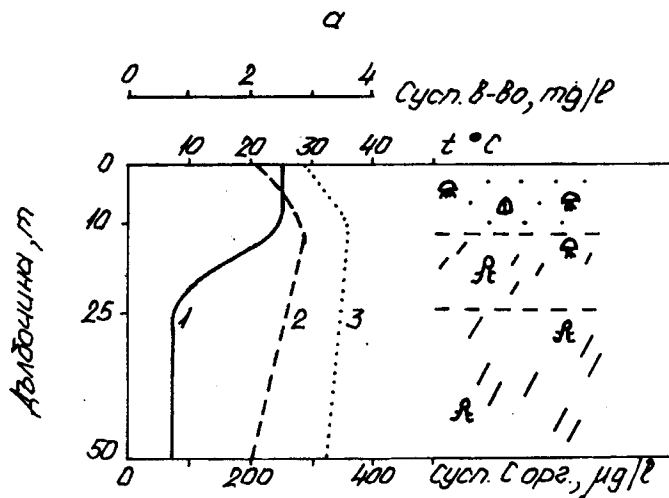
Пробите бяха вземани *in situ* с помощта на конструирана от нас система, позволяваща пробоотбор от желаните хоризонти при спускане на апарата и придънния 20 cm слой вода, посредством револверен тип сонда за дънни проби (Stirkov, Stoyanov, Mihova, 1992).

Хидрофизичните параметри, температурата на водата и разтвореният кислород бяха измерени *in situ* с хидрозонд "Guildline". Анализите на биогеохимичните параметри бяха извършени по стандартни методи на борда на НИК "Академик" (Методы..., 1978, 1980).

Структурата на "планктонния сняг", разпределението на зоо- и фитопланктона и суспендираното вещество по вертикала се определят до голяма степен от хидрофизичните фактори. От първостепенно значение в това отношение е термохалинната структура на водния слой и нейните сезонни промени. Към това трябва да се прибави и установеното от Harbison, Ospovat, Konsulov (1990) масово развитие на зоопланктонния вид *Mnemia mcgradyi*, известен още като *Mnemiopsis leidyi* (Шукшина, Николаева, Лукашова, 1990).

През август термоклинът на ст. 1 е в слоя 12+25 m. Над него преобладава медузата *Aurelia aurita*. Срещат се и единични екземпляри *Mnemiopsis leidyi* с размери 4+5 cm. Суспендираното вещество е във вид на финодиспергирани частици, т.нар. от Скопинцев (1975) "воден хумус", с преобладаваща фитопланктонна компонента (фиг. 1a). Това е свързано с максимума на фитопланктона в повърхностния еуфотичен слой (Shtereva, Moncheva, 1993).

В слоя на самия термоклин присъствието на *Aurelia aurita* намалява и се появяват единични екземпляри *Pleurobrachia rhodopsis* (1+2 екз./m³). Суспендираното вещество е във вид на "планктонен сняг" с по-крупни агрегати.



- ☉ - *Aurelia aurita*
- ⊕ - *Mnemiopsis leidyi*
- ℙ - *Pleurobrachia rhodospis*

Фиг. 1. Разпределение на $T^{\circ}C$ (1), суспендираното вещество (2), Сорг. (3), видовия състав микрозоопланктона и структурата на "планктонния сняг" по вертикалата на ст. 1 през август (а) и ноември (б) 1990 г.

Нарасналата плътност на водата в слоя на термоклина се явява бариера на седиментационния поток, създаваща условия за агрегация. Тези зародиши, образувани се в термоклина с очевидно доминираща зоопланктонна компонента, формират в направление към дъното големи агрегати във вид на камшичета, достигащи дължина до 10 cm (Михова, 1991). В зоната на термоклина се установява присъствието само на студенолюбивия макрозоопланктонен вид *Pleurobrachiarhodopsis* (фиг. 1а).

Разпределението на макрозоопланктона и "планктонния сняг" по вертикала са в корелация с това на суспендираното вещество и главния му органичен компонент - Сорг. Максимумите на този показател са на дълбочина 12 m, в слоя на температурния скок, който е в интервала от 25 до 8°C. Съдържанието на суспендираното вещество достига 2,83 mg/l, а това на Сорг - съответно до 365,30 µg/l (фиг. 1а). Относителният дял на Сорг в суспендираното вещество от 13+14% в слоя до термоклина нараства до 17% в придънния слой. Това показва, че поради изявената роля на зоопланктона при формиране на по-ниската степен на дисперсност на "планктонния сняг" процесът на седиментация на свежо органично вещество е интензивен.

През ноември скокът на температурата е в по-тесен интервал (14,9±8,0°C). Термоклинът е изтеглен в дълбочина 25±35 m и е с по-малка мощност в сравнение с този през август. В слоя над него (0±25 m) при температура от 14,3 до 14,6°C преобладава *Mnemiopsis leidyi* (5+7 екз в m³) и единични екземпляри на *Aurelia aurita* с големина до 3+4 cm. В слоя на самия термоклин (25±35 m) се появява *Pleurobrachia rhodopsis* до 5+7 екз в m³ (фиг 1-б).

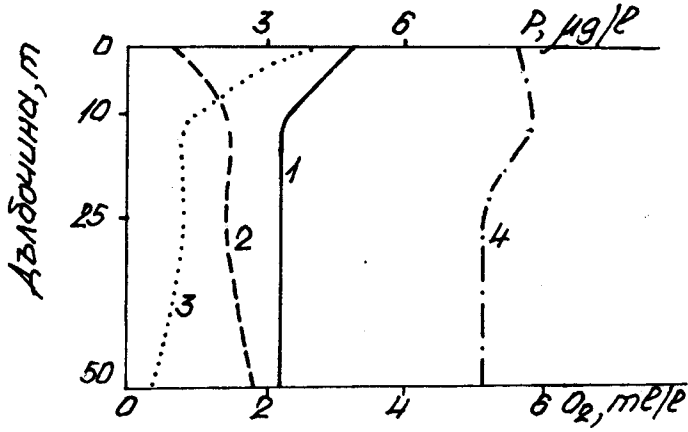
По-различната термохалинна структура на водния слой, както и по-малкото количество биомаса през ноември в сравнение с лятото, не създават условия

за образуване на големи агрегати. Поради това структурата на "планктонния сняг" е по-различна. Тя е подобна на тази през август само в слоя 0±6 m. Под него "планктонният сняг" е във вид на точки и фини нишки с дължина 1+3 cm. Очевидно е, че през ноември процесът на агрегация започва в слоя над термоклина (0±25 m), който е с по-голяма мощност в сравнение с този през август (0±10 m) и е наситен с макрозоопланктон. Поради по-ниските температури процесът на коагулация е по-слаб в сравнение с този през лятото. Това, както и по-високата скорост на седиментация до термоклина не дават възможност за образуването на големи агрегати и "планктонен сняг" с по-висока степен на дисперсност. Изтегленият в дълбочина термоклин и по-малката му мощност не са достатъчни за образуването на плътностна бариера за седиментационния процес. В слоя от повърхността до температурния скок (25 m) суспендираното вещество е от 0,75 до 0,60 mg/l, а Сорг нараства от 185,30 до 331,36 µg/l, т.е. от 24 до 55% от общото съдържание на суспендираното вещество. Слабата роля на термоклина като плътностна бариера се изразява в това, че в слоя под него и до дъното количеството на суспендираното вещество нараства до 1,10 mg/l паралелно с това на Сорг (392,40 µg/l), който е 28% от общото му съдържание (фиг 1-б).

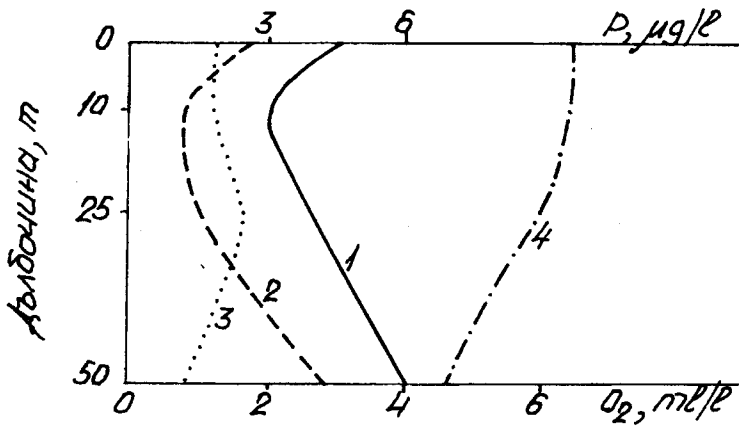
Динамиката на разтворените форми на фосфора: общ (Робщ), фосфатен (Рмин), и органичен (Рорг) през двата сезона е различна.

Общият разтворен фосфор през лятото е от 5,0 на повърхността до 3,41 µg/l в придънния слой на дълбочина 50 m (фиг 2-а). В слоя на термоклина Рорг намалява за сметка на Рмин, което показва, че част от фосфорорганичните съединения на биомасата се трансформират и минерализират. В самия термоклин двата параметъра почти не се

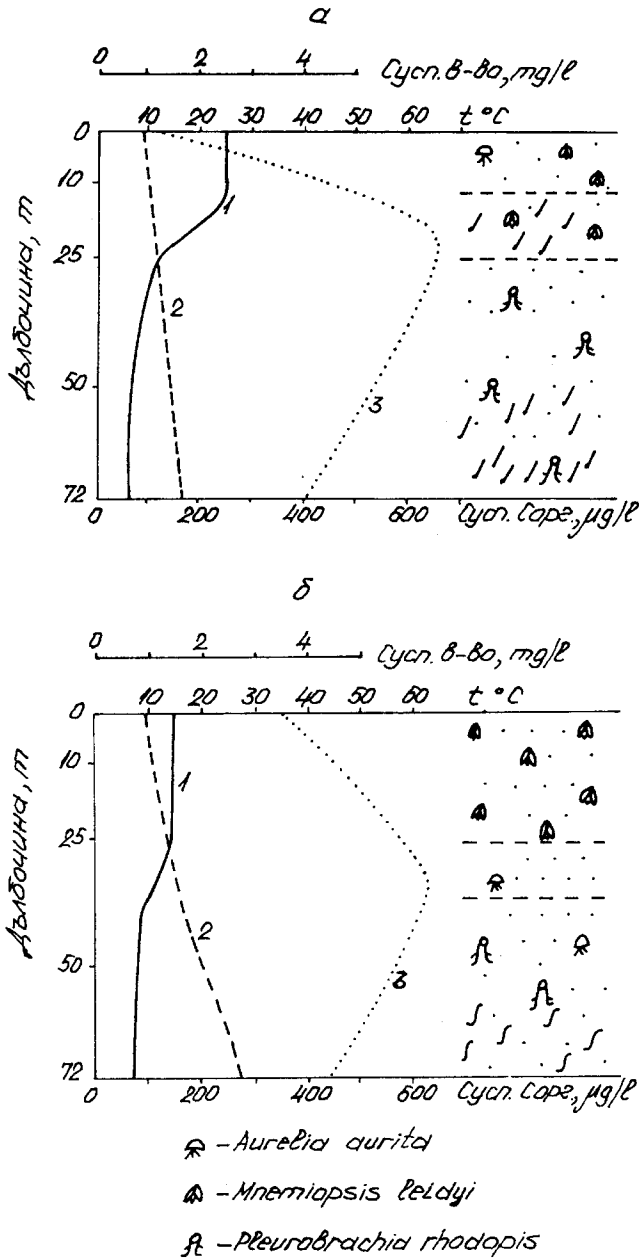
α



δ



Фиг. 2. Разпределение на разтворените Робиц (1), Рмин (2), Рорг (3) и O_2 (4) по вертикала на ст. 1 през август (а) и ноември (б) 1990 г.



Фиг. 3. Разпределение на $t^{\circ}\text{C}$ (1), суспендираното вещество (2), сусп. Соре (3), видо-вия състав на микрозоопланктона и структурата на "планктонния сняг" по вертикала на ст. 2 през август (а) и ноември (б) 1990 г.

променят. Под него обаче Рорг намалява, а Рмин се увеличава.

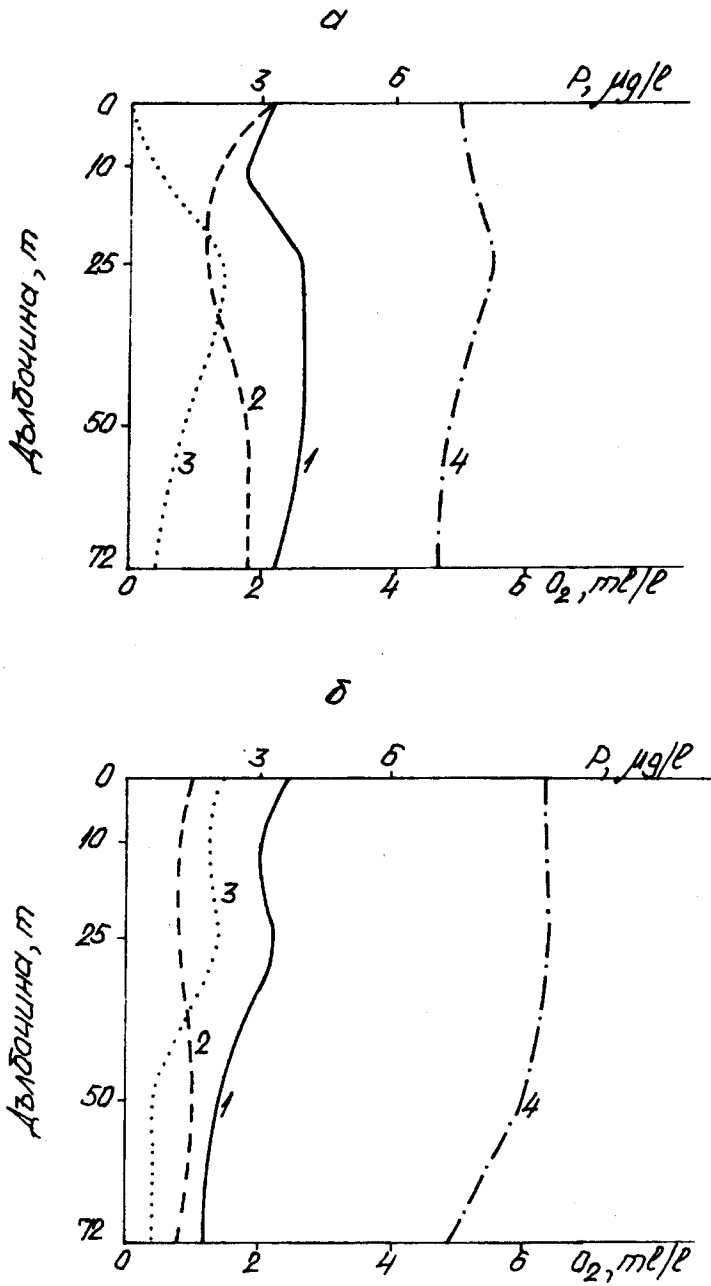
Това потвърждава предишните ни изследвания, съгласно които биогеохимичният цикъл на фосфора и активната му минерализация се изместват от средните към придънните хоризонти (Stoyanov, 1992). Съдържанието на фосфатите (Рмин) в слоя 0-50 m на ст. 1 през август е в интервала 1,0-2,80 µg/l, а през ноември от 1,24 до 4,34 µg/l. И в двата случая се потвърждава съществуващото силно намаляване на фосфатите в кислородния слой на югозападната част на Черно море (Stoyanov, 1993). Окисляването на Рорг е добре изразено в слоя под термоклина особено през ноември, когато разтвореният кислород на дълбочина 25-50 m намалява от 7,10 до 4,55 ml/l (фиг 1-б). На ст. 2 при дълбочина 72 m през август, независимо от същата термохалинна структура на водния слой, по отношение на другите показатели се установяват някои различия в сравнение със ст. 1 (фиг 3). В слоя до термоклина (0-12 m) първата разлика е, че на ст. 2 преобладава *Mnemiopsis leidyi* (а не *Aurelia aurita*) със сравнително малки екземпляри от 2 до 5 cm. "Планктонният сняг" е фино диспергиран както на ст. 1. На дълбочината на температурния скок (12 m) *Aurelia* изчезва и присъства само *Mnemiopsis*, а "планктонният сняг" е във вид на висулки, което на ст. 1 не се наблюдава в този слой. Очевидно е, че в тази зона условията за коагулация и агрегация през летния период са подобри в сравнение с района в близост до брега. В слоя на самия термоклин (12-25 m) присъства *Mnemiopsis leidyi*, а "планктонният сняг" е с ниска степен на дисперсност във вид на висулки. Според нас това може да се обясни с коагулация при рязката промяна на температурата, както и с повишаването на солеността, респективно съдържанието на Na+. Известно е, че съгласно правило-

то на Шулце-Харди Na+ има в лиотрофния ред висок праг на коагулация (Кузнецов, Усть-Качкинцев, 1976).

Под термоклина в слоя 25-50 m закономерно присъства студенолюбивия вид *Pleurobrachia rhodopis*. "Планктонният сняг" се трансформира от висулки в точки. Това увеличаване на степента на дисперсност е трудно обяснимо, но съдейки по намаляването на съдържанието на суспендирания Рорг очевидно е, че част от едрите агрегати се разлагат и остават във вид на точки. Последните са твърде трайни и може да се допусне, че са с мицеларен произход. Именно те в посока към дъното (при по-дългия път на седиментация на ст. 1) се явяват зародиши на нови нишковидни агрегати, заемащи слоя 50-72 m (фиг. 3а). Друга съществена разлика с по-малките дълбочини (ст. 1) е, че на ст. 2 в слоя на термоклина през август максимума на суспендирания Рорг е много добре изразен, а общото съдържание на суспендираното вещество към дъното постепенно нараства от 0,88 на повърхността до 1,68 mg/l на дълбочина 72 m (фиг. 3а).

Поради голямата дълбочина на ст. 2 разлагането на суспендираното органично вещество е по-значително и в слоя под термоклина Рорг през двата сезона намалява по-чувствително (фиг. 3-а, б). Едновременно с това при по-високата степен на минерализация (особено през ноември) на ст. 2 общото съдържание на суспендираното вещество достига максимума за целия район - 2,75 mg/l, за сметка на минералната му компонента (фиг. 3-б).

Динамиката на разтворените форми на фосфора по вертикала на ст. 2 е също добре изразена. Някои различия в сравнение със ст. 1 се появяват поради по-голямата дълбочина. По отношение на Рорг през август разликата е, че докато на ст. 1 той намалява в слоя до температурния скок на дълбочина 12 m, то на ст. 2 той нараства (фиг. 2-а и 4-а). При това максимумът на разтворения Рорг



Фиг. 4. Разпределение на разтворените Робиц (1), Рмин (2), Рорг (3) и O_2 (4) по вертикала на ст. 2 през август (а) и ноември (б) 1990 г.

през август на ст. 2 ($2,20 \mu\text{g/l}$) е точно фиксиран под термоклина в слоя 20+35 m, докато на ст. 1 такъв липсва. Този максимум на Рорг на ст. 2 съвпада с рязкото понижение на съдържанието на суспендирания Сорг (фиг. 3-а) и увеличение на степента на дисперсност на "планктонния сняг" и показва, че в този случай част от органичното вещество се трансформира. Същевременно $R_{\text{мин}}$ започва да се увеличава паралелно с намаляването на разтворения кислород, което показва активно окисляване на фосфорорганичните съединения. В дълбочина $R_{\text{мин}}$ нараства слабо, а Рорг намалява и това показва, че минерализацията на фосфорните съединения на двете станции под термоклина не е интензивна. И в двата случая "планктонният сняг" е с ниска степен на дисперсност. В големите агрегати на биомасата значителни количества фосфор са блокирани в органична суспендирана форма и попадат на дъното, което е една от причините за фосфатния дефицит (Stoyanov, 1993). През ноември закономерностите във вертикалното разпределение на формите на разтворения фосфор са общи, но степента на проявата им е различна поради разликата в дълбочините (фиг. 2-б и 4-б).

Резултатите показват, че поради нараналата еутрофикация структурата на суспендираното вещество в зоната на българския шелф е сериозно изменена. Причината е нарастването на общото количество на суспендираното вещество за сметка на неговата органична компонента, която се явява основна част от седиментационния поток. Това се изразява в увеличаването на т.нар. "планктонен сняг" с преобладаващ зоопланктонен състав, чиято степен на дисперсност по вертикала се влияе от сезонните промени в термохалинната структура на водния слой. От съществено значение в това отношение са процесите на коагулация и агрегация, чиято интензивност е по-

висока през летния сезон. Корелацията между съдържанието на суспендираното вещество, суспендирания Сорг и разтворените форми на фосфора показва, че в дълбочина термоклинът и през двата сезона не се оказва достатъчна бариера за седиментационния процес, която да даде възможност за трансформация и разлагане на суспендираното органично вещество още във водата. Общата закономерност и през двата сезона е че в слоя, лежащ на около 20+25 m над дъното, степента на дисперсност на "планктонния сняг" намалява. Това води до увеличаване скоростта на седиментационния процес и "погребване" на чувствителни количества фосфор в дънните утайки. Всичко това потвърждава както данните от предишните ни изследвания на органичния състав на повърхностния слой на дънните утайки (Михова, 1991), така и тези за разширяването на биогеохимичния цикъл в дълбочина (Stoyanov, 1992), което е една от причините за установения през последните 5+6 години фосфатен дефицит.

От научно-фундаментална гледна точка е особено важно да се изяснят посочените промени в структурата на суспендираното вещество.

Въпросът за преноса на вещества в моретата и океаните е един от най-сложните за химическата океанография. Счита се, че скоростта на седиментация е правопрпорционална на размерите на частиците съгласно закона на Стокс (Хорн, 1969). Това се отнася обаче за мъртвата част на суспендираното вещество. Живата материя е с висока миграционна способност, която зависи от природни фактори и биологични закони. Всичко това според нас определя морската вода като колоидно дисперсна система със сложни по състав и структура дисперсна фаза и дисперсна среда. Измененията в тях зависят от сезонните промени в термохалинната структура на водния слой.

При разлагането на отмерелия фитопланктон, а в началния стадий и на зоопланктона, във водата се натрупват не само минерални, но и органични съединения. Те са сложни комплекси с висока биохимична устойчивост, образуващи т.нар. "воден хумус". Той е частично разтворим във водата и в по-голямата си част е в суспендирано състояние, като се утаява на дъното (Скопинцев, 1982). "Воден хумус" с висока степен на дисперсност се установява по Тиндаловия ефект и при нашите подводни изследвания. Наред с него съществува и т.нар. "планктонен сняг" с ниска степен на дисперсност, който е главния компонент на седиментационния поток. Въпросът за неговия генезис е изключително важен от биогеохимична гледна точка. За да бъде намерен възможно най-точният негов отговор, най-правилно е да се започне от структурата на общия автохтонен органичен поток. Очевидно е, че той се състои от два главни компонента: "воден хумус" и "планктонен сняг". Важно е да се изясни дали те имат самостоятелен или общ път на образуване и каква е взаимната връзка между тях.

Въпросът дали разтвореното в морската вода органично вещество е в истински или колоиден характер според Хорн (1969) е труден за решаване. По видимостта и Тиндаловия ефект при подводните изследвания обаче, се установява, че колоиден разтвор съществува. Това е закономерен резултат от трансформацията на биомасата в процеса на еутрофикация. Допуска се, че част от органичното вещество се сорбира от хидроокисите на желязото и алуминия (Хорн, 1972). В българската морска акватория на дълбочини от 0 до 100 м съдържанието на суспендирано желязо е от 50 до 263 $\mu\text{g/l}$, което съответства на 87÷100% от общото му съдържание (Стоянов, Щерева, Димитров, 1983). Така, че сорбиционният процес с участие на желязото може да се приеме като

един от вероятните при получаване на "воден хумус".

"Планктонният сняг" обаче се състои от агрегати с твърде големи размери (до 10 cm), които едва ли могат да бъдат достигнати при този механизъм. Има основание да се допусне, че в основата на неговото образуване стои друг процес. По установеното високо съдържание на суспендирания Сорг (фиг. 1 и 3) може да се съди, че това е коагулацията. При непрекъснатото съприкосновение между отделните частици на мървия зоопланктон се получават по-големи агрегати. Ходът на коагулацията зависи от редица фактори, най-важните от които са промените в температурата и присъствието на електролити (Кузнецов, Усът-Качкинцев, 1976), които в морската вода са налице. В слоя 0-50 m на българския шелф средногодишната температура и соленост са съответно от 14,5 до 7,6°C и от 17,0 до 18,5%. През летния сезон температурната разлика е значителна. Тя достига до 26,0°C на повърхността и 7,5°C на дълбочина 50 m. Това е най-вероятната причина за ниската степен на дисперсност и високата агрегатна устойчивост на "планктонния сняг". Установените от Консулов (1984) значителни количества на мезозоопланктона *Noctiluca miliaris*, попадащи на дъното, вероятно играят ролята на зародиши на органично суспендирано вещество в хода на седиментационния процес.

Динамиката на "планктонния сняг" по вертикала и измененията в неговата структура зависят от сезонните условия. Той има самостоятелен път на образуване, който е свързан с установеното през последните години рязко нарастване на биомасата на зоопланктона, особено в западната част на Черно море и нейната трансформация (Stoianov, 1992).

Проведените изследвания дават основание да се допусне, че в западната част на Черно море органогенният седиментационен поток по степен на дисперс-

ност се състои от два главни компонента. Единият е "водният хумус", формиращ се предимно при трансформацията на отмерелия фитопланктон и отличаващ се с висока степен на дисперсност. Другият е "планктонният сняг" с доминиращ зоопланктонен състав, който се получава в процеса на коагулация. Връзката между тези два компонента по вертикала съществува. Високата агрегатна ста-

билност обаче и ниската степен на дисперсност на "планктонния сняг" са главните фактори, определящи нарасталия седиментационен поток. Това заедно с измененията в структурата на планктонните съобщества е причина за увеличеното съдържание на органичен въглерод в суспензиите и утайките, както и за измененията в биогеохимичния цикъл на фосфора.

ЛИТЕРАТУРА

- Консулов, А. 1984. Участието на *Noctiluca miliaris* в евтрофикацията на плиткия шелф. - Рибно стоп., 3, 17-18.
- Кузнецов, В.В., В.Ф. Усть-Качкинцев. 1976. Физическая и коллоидная химия. М., Высшая школа. 227 с. Методы гидрохимических исследований океана.
1978. М., Наука. 269 с. Методы исследований органического вещества в океане.
1980. М., Наука. 343 с. Михова, Л.Д.
1991. Новые данные о состоянии морского дна в зоне болгарского шельфа. Докл. БАН, 44 (11), 71-73.
- Рождественский, А.В. 1958 Какви течения има пред българския бряг. Рибно стоп., IV, № 2 3, 7-10.
- Рождественский, А.В. 1986 Хидрохимия на българския сектор на Черно море. С., БАН, 190 с.
- Рождественский, А.В. 1990. Многолетняя динамика наиболее важных экологогидрохимических показателей в болгарской части Черного моря. Океанология (С.), 19, 15-26.
- Рождественский, А.В. 1992. Гидрохимическая характеристика болгарской черноморской акватории за период 1986-1990 г. Труд. Инст. океан., I, 42-47.
- Скопинцев, Б.А. 1975. Формирование современного химического состава вод Черного море. М., Наука, 215 с.
- Стоянов, А.С., Г.П.Щерева, П.С.Димитров. 1983. Съдържание на общо желязо и общ манган и съотношението между разтворената и суспендираната им форма в югозападната част на Черно море. Океанология (С.), 11, 16-23.
- Хорн, Р. 1972. Морская химия. М., Мир, 398 с.
- Шукшина, Э.А., Г.Г.Николаева, Т.А.Лукашева. 1990. Изменение структуры планктонного сообщества Черного моря при массовом развитии гребневика *Mnemiopsis leidyi* (Agasiz). Журнал общей биологии, 51 № 1, 54-61.
- Dimitrov, P.S., A.S.Stoianov, G.P.Shtereva. 1981. On the distribution of suspended material in the Black Sea water area. Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci., 34, № 10, 1429- 1431.
- Harbison, A., M.Ospovat, A.Konsulov. 1990. The occurrence of *Mnemiopsis mccradyi* (Mayer,1990) a Ctenophore previously endemic to the Atlantic coast of north and south America in the Black Sea of Azov. Deep sea research., 25.
- Shtereva, G., S.Moncheva. 1993. Suspended matter and its phytoplanktonogenic component. Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci., 46, № 7, 103-106.
- Shtirkov, I.I., A.S.Stoianov, L.D.Mihova. 1992. Modern technical devise for the contact zone in the Sea - Sea floor. - International conf. on protecting the environment. In: Reports of Technical University of Sofia, 1-4.
- Stoianov, A.S. 1992. Shanges in the biogeochemical cicle of Phosphorus and Nitrogen in Bulgarian Black Sea sector under the influence of increasing eutrophication. Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci., 45, № 12, 97-99.
- Stoianov, A.S. 1993. Unexpected phosphate defficiency in the oxic layer in southwestern Black Sea. In: report of Conf. in conjunction with the 1993 VETP-EEE Anual Meeting, Thassaloniki, Grees.