

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
Институт по океанология „Проф. Фритьоф Нансен“

Елица Славева Стефанова

**ВЛИЯНИЕ НА ЕКОЛОГИЧНИ ГРАДИЕНТИ
ВЪРХУ СТРУКТУРАТА И ДИНАМИКАТА НА
МЕЗОЗООПЛАНКТОНА В СЕВЕРОЗАПАДНАТА
АКВАТОРИЯ НА ЧЕРНО МОРЕ**

АВТОРЕФЕРАТ

на

ДИСЕРТАЦИЯ

за придобиване на образователна и научна степен

„Доктор“

По област на висше образование:

4 „Природни науки, математика и информатика“

Професионално направление: **4.3** „Биологически науки“

Научна специалност: **02.22.01** „Екология и опазване на екосистемите“

Научно направление „Зоопланктон“

Научни ръководители:

Проф. дбн Асен Консулов ИО-БАН

Доц. д-р Димитър Кожухаров БФ-СУ

Проф. д-р Снежана Мончева ИО-БАН

Варна
2014 г.



Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширен семинар на секция „Биология и екология на морето“ към Института по океанология „Проф. Фритьоф Нансен“ на Българска Академия на Науките, състояло се на 16 юни 2014 г.

Дисертацията е разработена в рамките на редовна докторантура в секция „Биология и екология на морето“ към Институт по океанология - БАН.

Представеният дисертационен труд е с обем от 192 страници текст, съдържа 8 глави, 63 фигури, 9 таблици и 2 приложения. Списъкът на цитираната литература включва 251 заглавия, от които 88 на кирилица, 160 на латиница и 3 интернет сайта.

Защитата на дисертационният труд ще се състои на 08.09.2014 г. от 14.00ч. в заседателната зала на Института по океанология при БАН на ул. „Първи май“ № 40, на открито заседание на петчленно Научно жури в състав:

1. доц. д-р Валентина Русева Тодорова (ИО-БАН)
2. проф. дбн Марияна Владимирова Филипова-Маринова (ПНМ-Варна)
3. проф. дбн Яна Илиева Топалова (БФ-СУ)
4. проф. дбн Иван Стоянов Доброволов (ТУ, Варна)
5. доц. д-р Димитър Стефанов Кожухаров (БФ-СУ)

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в библиотеката на Института по океанология „Проф. Фритьоф Нансен“, Варна, ул. „Първи май“ № 40.

I. Увод

Мезозоопланктонът е ключов елемент в пелагичните трофични вериги, но въпреки това не се използва масово като показател за състоянието на изследваните екосистеми. Комплексната оценка на състоянието на черноморската екосистемата определя необходимостта от въвеждането му, като индикатор за промени на средата. Във връзка със заложената в РДМС 2008/56/ЕО Първоначална оценка на състоянието на морската околната среда (2013) и Оценката на екологичното състояние на крайбрежните води – РДВ (2013) са предложени индекси базирани на зоопланктонния компонент, които трябва да бъдат валидирани и адаптирани до 2018, както и да бъдат създадени нови.

Влиянието на зоопланктона върху продукцията на фитопланктона и консументите от по-висок порядък е в пряка зависимост от таксономичния състав и количествените му параметри, влияещи се от факторите на морската среда. В развитието на екосистемата са описани значителни колебания, дължащи се, както на действието на антропогенните и климатични фактори, така и на промени във вътрешният ѝ баланс (Prodanov et al., 2001; Oguz, 2005 a, b; Shiganova et al., 2008). Това обуславя необходимостта от изясняването на връзката между факторите на средата и характеристиките на съобществото.

Местообитанията на мезозоопланктонните организми се формират от едновременното действие на различни средообразуващи фактори, като промените на стойностите им в пространството формира градиенти. Наличието им дава възможност на зоопланктерите да се развиват в оптималния интервал от стойности. Възможностите от комбинации, които предлага пелагиала под формата на екологични ниши позволява съвместно съществуване на голям брой видове в едно местообитание и намалява конкуренцията между тях

Изясняването на взаимовръзките на факторите на средата (абиотични и биотични) в Черно море е актуален научен проблем. Резултатите от подобен род изследвания са от съществено значение за проучване възможностите на екосистемата в частност на зоопланктона за отговор и адаптиране към измененията. Разграничаването на отделни пелагични хабитати със специфични физико-химични параметри и характеристики на мезозоопланктонните съобщества биха послужили в процеса на развитие и усъвършенстване на разработените вече индекси.

II. Литературен обзор

II.1. Характеристика на изследвания район

В глава II.1.1. са разгледани някои хидрологични характеристики и особености на Черно море, обуславящи формиране на градиенти, като се акцентира върху северозападната акватория.

В глава II.1.2. са представени в сравнителен аспект общата характеристика и особеностите на хидрохимичните и хидробиологични характеристики на Черно море, през отделните етапи от екологичното му развитие:

Първият период (референтен) е до средата на 70-те години на XX век. Характеризира се с по-слабо антропогенно повлияване. Екосистемата се характеризира с естествена изменчивост и малка продуктивност.

От средата на 70-те до началото на 90-те години факторите, упражняващи bottom-up (голям вток на биогенни елементи) и top-down ефекти (навлизането на *Mnemiopsis leidyi*, преуловът на пелагични риби, използването на драгиращи дъното съоръжения за добив на бентосни организми) предизвикват трансформации, екологична нестабилност и деградация в екосистемата (Alexandrov, 2006; Mee, 1992; Yunev et al., 2005). Зоопланктонът продуцира голяма биомаса, но за сметка на увеличението дял на по-малко ценни в трофично отношение видове (Kideys et al., 2000). Намалява видовото разнообразие, поради доминиране на опортюнисти (*Acartia clausi*, *Noctiluca scintillans*) и хищен желеобразен планктон (Shushkina et al., 1998; Kideys et al., 2000).

През 90-те години настъпва период на относително възстановяване на екосистемата. Количеството биогенни елементи намалява (Shtereva et al., 1998). Фитопланктонните цъфтежи на диатомеи достигат стойности, характерни за първия етап. Възстановява се сезонната сукцесия (Moncheva et al., 2001; Prodanov et al., 2001). След навлизането в екосистемата на *Beroe ovata* (Konsulov, Kamburska, 1998 a), която е хищник хранещ се с *M. leidyi*, числеността на популацията ѝ се редуцира, отразявайки се в 2-4кратно нарастване на биомасата на мезозоопланктона (Oguz, 2005 b), ихтиопланктона и рибните запаси (Shiganova et al., 2003). Високите нитратни концентрации и ниска кислородна наситеност през летните месеци (Shtereva et al., 1999), високата честота на фитопланктонни цъфтежи (Moncheva et al., 2001), рибните замори в края на 90-те години, поддържането на голяма биомаса на *M. leidyi* (Shiganova et al., 2000, Kideys, 2002) и бавните темпове на възстановяване на бентосното съобщество (Todorova, Konsulova, 2000), показват нестабилност в тенденциите на подобряване на състоянието на екосистемата и механизмите, които стоят в основата му (Velikova et al., 1999; Moncheva et al., 2001; Mee, Mihnea, 2002, Стефанова и кол., 2005; Oguz, 2005 a, b; Shtereva et al., 2005; Abaza et al., 2006; Moncheva et al., 2010; Oguz, Velikova 2010).

II.2. Изследвания на зоопланктона в Черно море – исторически преглед

Глави II.2.1., II.2.2. и II.2.3. представят изследванията върху структурата, разпределението и сезонната и годишна динамика на зоопланктона в северозападната акватория на Черно море. При описание на качествения състав на съобществото се акцентира също върху физиологичните особености на организмите и обусловеното от тях локализиране в различни слоеве и зони на пелагиала. Представено е значението на динамиката на водните маси, речният вток и трофичният потенциал на средата за разпределението на

зоопланктерите. Проследени са денонощните, сезонни и многогодишни промени в количеството и структурата на мезозоопланктонното съобщество.

Проведените до този момент изследвания дават множество сведения както по отношение на естествените, така и относно възникналите под действие на антропогенните фактори, колебания в стойностите и разпределението на физико-химични параметри и мезозоопланктона през етапите от еволюцията на екосистемата. Въпросът за влиянието на градиентите на средата върху биологичният елемент в специфичния в хидрологично и хидрохимично отношение район при съвременните условия е изключително актуален и показва необходимостта от провеждане на настоящото изследване.

III. Цел и задачи

Целта на настоящото изследване бе анализ и оценка на съвременното състояние на зоопланктона - видов състав, количествени и структурни параметри по екологични градиенти в северозападната част на Черно море, сравнителен анализ с предходни изследвания в българската акватория и оценка на съвременното екологично състояние според разработени по РДМС индикаторни категории за мезозоопланктон.

Според формулираната работна хипотеза, съществуващите градиенти във физичните и химични фактори на средата в северозападната част на Черно море са ключовите механизми, определящи качествените и количествени характеристики и разпределение на зоопланктонните съобщества.

За осъществяване на целта и доказване на работната хипотеза бяха формулирани следните задачи:

1. Анализ на фаунистичния състав, количествените параметри и пространственото разпределение на мезозоопланктонните съобщества в българската, румънска и украинска акватории. Установяване на темпоралните параметри на мезозоопланктона - сравнение с предходни изследвания.

2. Анализ на особеностите в развитието, структурата и разпределението на мезозоопланктонните комплекси в зависимост от градиентите на физичните и химични фактори на средата.

3. Установяване на тенденциите в развитието на мезозоопланктонното съобщество в сравнителен аспект с дългогодишни данни за българския участък на Черно море.

4. Оценка на съвременното екологично състояние в българската акватория на базата на разработена за мезозоопланктона индикаторна система.

IV. Материал и методи

IV.1. Материал и методи за полева и лабораторна обработка

Настоящото изследване обхваща северозападната акватория на Черно море (България, Румъния и Украйна). Включени бяха данни от три международни научноизследователски експедиции, проведени на борда на НИК "Академик" в

рамките на два проекта, в които партньор за региона е Институт по Океанология – БАН, Варна (Фиг. 1, 2, 3):

проект на НАТО с координатор JRC (Joint Research Centre, Ispra, Italy)

- юни 2006 г. и май 2009 г.

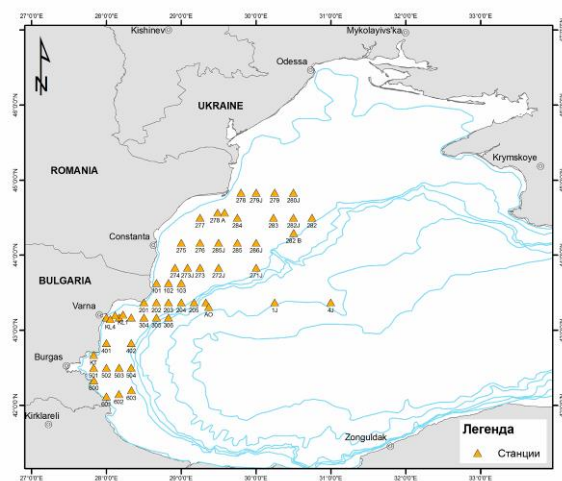
проект на GEF (Global Environment Facility, Washington, USA)

- юли - август 2006 г.

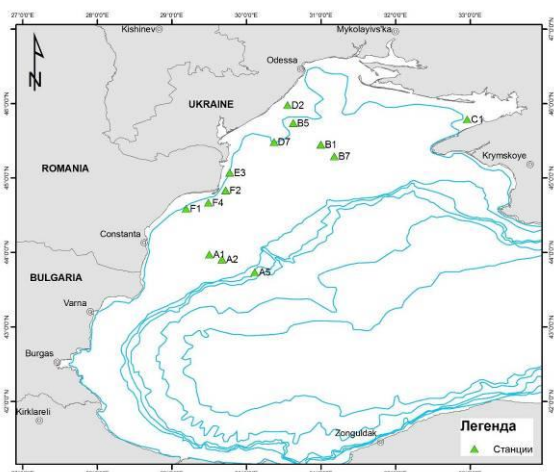
Бяха събрани и обработени общо 239 количествени и качествени зоопланктонни проби от 125 станции. Пробовземането бе извършено с количествена фракционна планктонна мрежа тип “Джеди” с диаметър на входящия отвор 36 см и 150 мкм размери на „очите“, улавяща ефективно размерната група мезозоопланктона (200 - 2000 мкм) (Harris, 2000).

За установяване на вертикалното разпределение на зоопланктона, материалът бе събиран от стандартни за морската хидробиологична практика хоризонти на водния стълб: 150 - 100, 100 - 50, 50 - 25, 25 - 10 и 10 - 0 метра (Harris, 2000). При необходимост, в зависимост от хидрологичните параметри, тези хоризонти бяха променяни с цел да се установи разпределението по температурния градиент в зоните на повърхностния хомогенен слой, сезоненния термоклин и подлежащият дълбоководен слой с максимална дълбочина до 150 м (приет за горна граница на сероводородната зона).

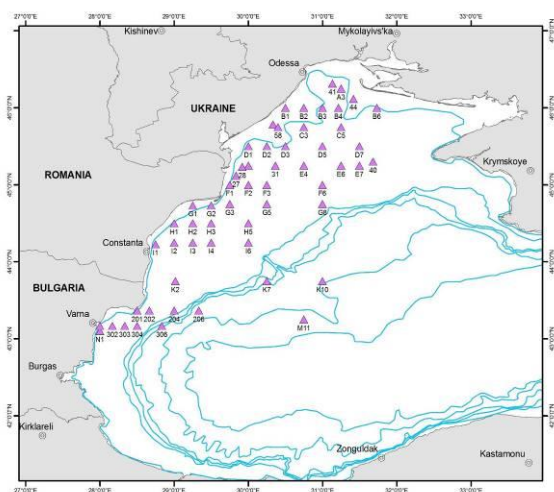
Зоопланктонните проби бяха фиксирани в 4 % разтвор на формалдехид, като преди това се отделя и измерва желеобразния зоопланктон.



Фигура 1. Карта на района на изследване през юни 2006 година.



Фигура 2. Карта на района на изследване през юли-август 2006 г.



Фигура 3. Карта на района на изследване през май 2009 година.

Лабораторната обработка на фиксираните пробите бе извършена чрез утаяването им до 100 cm^3 , последвано от концентриране до обем от 25 cm^3 . Броенето и определянето на качествения състав бе извършено с помощта на стереомикроскоп с микрометър Olimpus SZ30 (увеличение 32x). За количествена оценка на мезозoopланктона бе използван методът на Димов (1959). Концентрираната и хомогенизирана проба се разделя на подпроби, като

1/5 от обема се анализира в броителна камера на Димов. Масовите видове се отчита в десет квадратчета, а редките видове в цялата проба. Едрите мезозoopланктонни видове (*Calanus euxinus*, *Parasagitta setosa*, Decapoda larvae, Pisces ova и larvae) са отчитани за цялата проба. Числеността на отделните видове в 1 м³ се преизчислява чрез използване на преобразователен коефициент.

За определянето на zooplanktonните таксони бяха използвани следните определители: Мордухай - Болтовский (1968, 1969, 1972), Razouls et al. (2005-2012), Мурина (2005), както и World register of marine species (<http://www.marinespecies.org>).

Биомаса на zooplanktona бе изчислена въз основа на стандартни индивидуални тегла на видовете (Petipa, 1959).

Паралелно с пробовземанията бяха отчетени температура, соленост и флуоресценция чрез CTD розет система (Seabird Electronics CTD 32 carousel), получени благодарение на проф. д-р инж. Атанас Палазов, гл. ас. Надежда Вълчева, гл. ас. Христо Станчев и Анатоли Апостолов (ИО – БАН).

Необходимата информация за установяване на основните химични градиенти на средата бе получена от проф. д-р Галина Щерева (ИО – БАН).

За установяване на динамиката в развитието на zooplanktonното съобщество пред българския бряг бяха използвани многогодишни данни от мониторинг по трансект нос Галата (1967-2005г.) и нос Калиакра (1981-1997г.), любезно предоставени от проф. д-р Асен Консулов, гл. ас. Кремена Стефанова (ИО – БАН) и д-р Людмила Камбурска (Institute for Environment and Sustainability, Ispra, Italy).

IV.2. Метрики, индекси и индикатори

Използвани бяха изброените по-долу индекси за оценка на характеристиките на мезозoopланктонното съобщество:

Общ брой видове в пробата – **S (1)** дава първоначална оценка на моментното състояние на съобществото. Общата и индивидуалната численост на видовете служат, като изходни данни за оценка на биоразнообразието чрез изчисление на структурни индекси на разнообразие и сходство.

Индекс за индивидуално видово разнообразие (**H'**) по Shannon, Weaver (1949):

$$(2) \quad H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i ,$$

където p_i е относителният дял на i -тия вид от общата численост (биомаса):

$p_i = (n_i/N)$, където n_i е числеността на вида i , а N – общата численост или

$p_i = (b_i/B)$, където съответно b_i е биомасата на вида i а B – общата биомаса на видовете в съобществото; S – общ брой видове в съобществото.

Максималната теоретична стойност на индекса на Shannon-Weaver е 5 и се отчита при наличие на голям брой видове, и близки количествени параметри на организмите в съобществото. В естествени условия тази стойност е трудно достижима, поради различните посоки и степени на въздействие на комплекса от средообразуващи фактори (Узунов, Ковачев, 2009).

Индексът за изравненост в съобществото **J'** по Pielou (1966):

$$(3) \quad J' = H' / \log_2 S,$$

където H' е показател за видово разнообразие; S – брой видове.

Скалата на равномерност на представяне на всеки вид варира от 0 до 1. В неповлияни съобщества изравнеността клони към максимална.

Индекс на Margalef (1958) за общо видово разнообразие (**d**):

$$(4) \quad d = (S-1) / \log_2 N,$$

където S е обща численост на съобществото, а N е броят видове в пробата.

Други показатели за оценка и анализ на биоценозите са честота на разпределение (**FOi**) и честота на срещане (**pF**) на видовете.

$$(5) \quad FOi = \frac{\sum Fi}{\sum F},$$

където $\sum F_i$ е общата честота на i -тия вид и $\sum F$ е сумата от честотата на всички видове в съответната акватория (Holden, Raitt, 1974).

Същият индекс може да бъде изразен в процентно отношение.

Индекса за честота на срещане на видовете **pF** (DeVries, 1937):

$$(6) \quad pF = (m / n) * 100,$$

където :

m – броя на пробите, в които видът е регистриран; n – общ брой на пробите.

При **pF** ≥ 70 се приема, че видът е константен.

Таблица 1. Използвани метрики, индекси и индикатори.

Метрики	Скали	Екологичен статус	Източник
Численост на мезозoopланктона (екз.м-3)			
Биомаса на мезозoopланктона (мг.м-3)			ПОСМОС (2013)
крайбрежие	20-550	добро	
шелф	15-300	добро	
открито море	10-200	добро	
Процент от биомасата на копеподите (СВ%)	> 42 < 42	добро недобро	ПОСМОС (2013)
Процент от биомасата на <i>N. scintillans</i> (N.sci %)	< 30 > 30	добро недобро	ПОСМОС (2013)
Индекс на Shannon-Weaver по биомаса (bit.ind-1)			ПОСМОС (2013)
крайбрежие и шелф	> 2.5	добро	
открито море	> 2.0	добро	
Индекс на Shannon-Weaver	>4 4-3 3-2 2-1 < 1	много добро добро умерено лошо много лошо	ОЕСКВ – РДВ (2013)

В таблица 1 са представени използваните метрики, индекси и индикатори за оценка на зоопланктонното съобщество, разработени във връзка с извършване на заложената в Рамкова директива за морска стратегия 2008/56/ЕО Първоначална оценка на състоянието на морската околната среда (2013) и индексът на Shannon-Weaver, предложен като индикатор за състояние на крайбрежните водни тела според РДВ на ЕС (ОЕСКВ – РДВ 2013).

IV.3. Статистически методи за анализ на данните

Анализът на данните бе представен, използвайки програмата PRIMER 5 (PRIMER-E Ltd, Plymouth) за екологична оценка на съобщества.

Матрицата от данни за индивидуалната численост на всеки мезозoopланктонен вид по станции беше трансформирана предварително чрез логаритмуване и бе приложен клъстерен анализ за определяне сходство на пробите по Bray-Curtis (1957) :

$$(7) \quad S_{jk} = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^p |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})} \right\}$$

S_{jk} – коефициент на сходство на пробите j и k
 y_{ij} – численост на i -тия вид в проба j ; y_{ik} – численост на i -тия вид в проба k ;
 $|y_{ij}-y_{ik}|$ – абсолютната стойност на разликата в числеността на i -тия вид в проба j и k , а $(y_{ij}-y_{ik})$ – минималната от двете проби.

За оценка приноса на видовете към вътрегруповото сходство и междугруповото несходство и определяне на типичните и дискриминативни видове бе приложен SIMPER – анализ (Clarke, Warwick, 2001). В диференцираните групи по Bray-Curtis, участието на всеки i -ти вид във вътрегруповото сходство бе определено чрез средното му участие между всяка двойка от пробите в групата. Чрез този анализ беше определено и участието на всеки i -ти вид в несходството (δ) на пробите между групите:

$$(8) \quad \delta_{jk} = 100 \cdot \frac{(y_{ij} - y_{ik})}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})}$$

δ_{jk} – участие на i -тия вид в несходството на пробите j и k

За откриване на модели на разпределение на зоопланктонните групи по отношение на физичните и химични параметри на средата бе използван многомерен анализ на главните компоненти (PCA), който изследва значими зависимости между състава на съобществото и факторите на средата. Използван бе класически факторен анализ по метода на главните компоненти (ГК) и Варимакс ротация (Varimax Rotation). Изследват се интензитетът и посоката на факторите, които оказват влияние върху разпределението на зоопланктона.

С помощта на софтуер Ocean Data View (Schlitzer, 2014) бе представено хоризонталното и вертикално разпределение на различни променливи (мезозоопланктонни групи и фактори на средата). За пространствено интерполиране на данни бе използван DIVA (Data-Interpolating Variational Analysis).

V. Резултати и обсъждане

V.1. Фаунистичен състав на мезозоопланктона

В резултат на проведените фаунистични изследвания през пролетния период на 2006 и 2009 година в северозападната и западна акватория на Черно море в структурата на мезозоопланктонното съобщество бяха установени общо 38 таксона. От тях бяха определени 26 таксона на видово ниво и 12 надвидови таксона, принадлежащи към типовете Myzozoa, Cnidaria, Ctenophora, Nematoda, Annelida, Mollusca, Arthropoda, Chaetognatha и Chordata.

С най-голямо разнообразие бе тип Arthropoda - 18 вида (заедно с ларвния стадий на макрозообентосният вид *Mesopodopsis slabberi*) и 6 таксона (3 холопланктонни и 3 меропланктонни). В клас Maxillopoda, разред Calanoida на подклас Copepoda бяха установени най-голям брой видове – 7, следван от Cyclopoida – 2 вида и 2 надвидови таксона, Harpacticoida – 1 вид и един таксон. От подразред Cladocera на същия клас Branchiopoda бяха установени 7 вида от четири семейства (Sididae, Daphniidae, Moinidae и Podonidae).

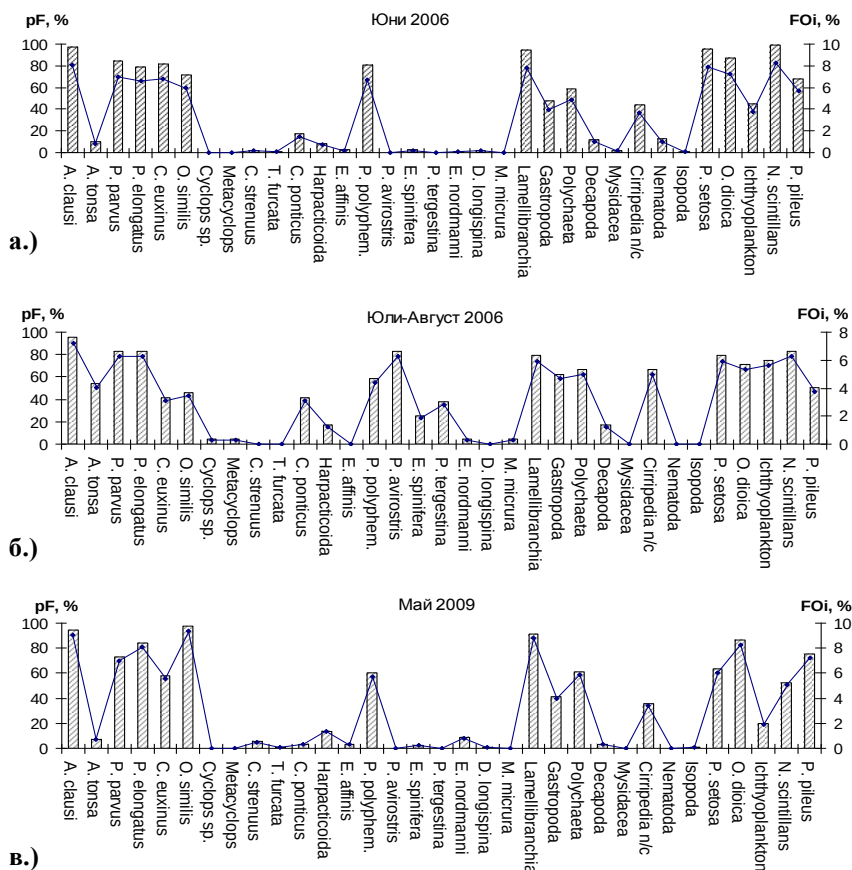
Групата на меропланктона в мезозоопланктонното съобщество бе съставена от три ларвни форми на макрозообентосни ракообразни, два на мекотелите и по един на кръглите и прешленести червеи. Ларвният стадий на висшето ракообразно *M. slabberi* от разред Mysida бе определен до видово ниво. През двете години бяха регистрирани също така ларви и яйца на риби. Организми от типове Myxozoa (1 вид), Cnidaria (5 вида) и Stenophora (1 вид) бяха условно обединени в групата на желеобразния планктон с незначителна трофична стойност.

От тип Chaetognatha и Chordata бяха установени по един холопланктонен вид, съответно *Parasagitta setosa* и *Oicopleura dioica*.

Анализът на фаунистичния състав на мезозоопланктонното съобщество бе съпроводен с кратко описание на някои екологични особености на отделните видове с цел да се представи значението и положението им в екосистемата.

През изследваният период не бяха установени значителни различия във фаунистичния състав на мезозоопланктонното съобщество в изследваната акватория. Константни и за трите експедиции ($pF \geq 70\%$) бяха копеподите *A. clausi* (честота на срещане между 94.7 % и 97.5 %), *Pseudocalanus elongatus* (79.2 % - 84.2%) и *Paracalanus parvus* (72.6%-84.2%), както и апендикуларията *O. dioica* (70.8 % - 87.5 %) и велигеровите ларви на миди (79.2 % - 94.2 %) (Фиг. 4).

Единствено миксохалинните и сладководни зоопланктери, разграничават северозападния район от западния. Характерно за крайбрежните райони през пролетния сезон е участието на топлолюбиви холопланктонни организми и бентосен ларватон. Слабото пространствено разграничаване на пелагиала на база на установения фаунистичен състав в голяма степен се дължи на дълбоководните зоопланктери, чиито екофизиологични особености обуславят наличието им през пролетта в крайбрежието в слоя под повърхността, където температурните условия са подходящи. Приложеният анализ при трансформация присъствие/отсъствие на таксони се оказва не достатъчно показателен за отdeferенциране на групите, характеризиращи отделните райони.



Фигура 4. Честота на срещане (pF,%) и разпределение (FOi,%) на мезозoopланктонните видове и таксони през (а) пролетта и (б) лятото на 2006 година и (в) пролет 2009 година.

V.2. Динамика в количествените параметри на мезозoopланктона

Разглежда се характерът на пространствено изменение на физико-химичните фактори на водната среда, както и хоризонталното и вертикално разпределение на мезозoopланктонното съобщество. Във вертикалното му разпределение по трансекти нос Галата, Констанца и Днестърски лиман през пролетта на 2006 и 2009 година бе установена тенденция на намаляване на числеността в дълбочина както на мезозoopланктона и основните групи-Copepoda и Cladocera, така и на *N.scintillans*. Регистрирано бе петнисто хоризонтално разпределение.

V.2.1. Количествени параметри и пространствено разпределение на мезозoopланктона по основните градиенти на средата през юни 2006 г.

Пролетта на 2006 година се отличава с екстремни стойности на оттока на река Дунав през периода март - юни и наводнения по поречието (Mikhailov et al., 2008), обуславящи неравномерно разпределение в пелагиала на стойностите на физичните и химични параметри на средата, както и на мезозoopланктона.

В *хидрографския профил* на водната маса в изследвания район през месец юни 2006 година беше регистрирана ясно изразена двуслойна стратификация по отношение на термичните и халинни криви, както и изразени градиенти на средообразуващите фактори.

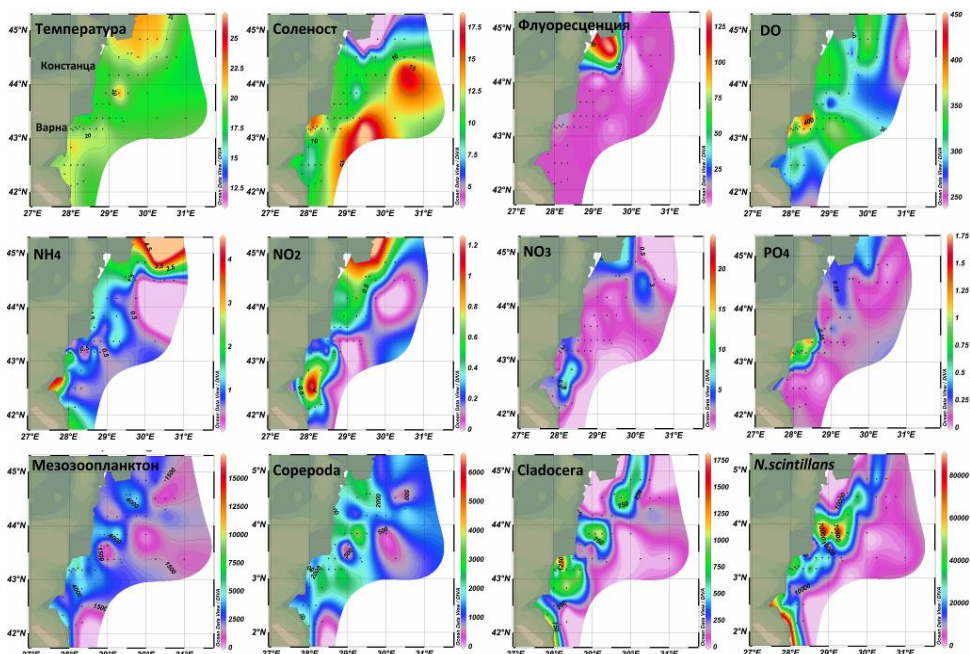
Средната температура на повърхностните води варира между 17.5 °C и 22.2 °C (Фиг. 5). Максимални стойности бяха отчетени пред делтата на река Дунав и нос Емине с тенденции на намаляване в посока към открито море. Сезонният термоклин бе установен в слоя 10 - 30 м с температурни граници от 19.3 °C до 8.2 °C в западната и от 19.6 °C до 7.9 °C в северозападната акватория. В дълбочина температурата остава относително постоянна със слой от студени междинни води (~ 6°C в средната част и граници между 30-56 м в дълбочина пред румънкия бряг и ~7 °C и граници от 33 до 88 м пред българския).

Солеността в повърхностните води варира между 13.3 ‰ и 18.4 ‰ в българската и 8.7 - 16.6 ‰ в румънската акватория (Фиг. 5), като изключение правят минималните стойности (~ 4 ‰), установени в района пред дунавската делта и южно от Сфънту Георге. Влиянието на сладководния вток се отчита на разстояние до 60 мили от брега пред Констанца и 15-20 мили в българската акватория, като засяга най-силно повърхностните 10-15 м на крайбрежните райони. В дълбочина стойностите на солеността се повишават, достигайки на 100 м до 20 ± 0.8 ‰.

В изследвания район максимални стойности на хлорофил-*a* бяха отчетени на дълбочина около 10 м, където бе регистриран максимум на флуоресценцията (Slabakova, Slabakova, 2008). В повърхностния слой бе отбелязано намаляване в посока от брега към открито море със силно изразен пик в района на Сфънту Георге (Фиг. 5).

Стойностите на разтворен кислород в повърхностния слой показват спад по оста крайбрежие-открито море. Варират в границите от 247.3 μM до 417.2 μM с максимум в района между Варненски залив и нос Калиакра (Фиг. 5).

В района пред делтата на Дунав и българските крабрежни участъци в близост до големите заливи бе оформена зона с максимални стойности на биогени, намаляващи в посока към открито море (Фиг. 5), като границите в които варират са съответно $\text{NH}_4 - 0.14 - 4.4 \mu\text{M}$, $\text{NO}_2 - 0 - 1.2 \mu\text{M}$, $\text{NO}_3 - 0.25 - 10.7 \mu\text{M}$ и $\text{PO}_4 - 0.03 - 1.6 \mu\text{M}$.



Фигура 5. Хоризонтални пространствени градиенти на температура [°C], соленост [‰], флуоресценция, DO [μM], NH_4 [μM], NO_2 [μM], NO_3 [μM], PO_4 [μM], мезозoopланктон, Copepoda, Cladocera и *N. scintillans* [екз.м⁻³] в повърхностния слой през юни 2006 г.

В хоризонтално направление беше отбелязана неравномерност в разпределението на мезозoopланктона в повърхностния хомогенен слой (Фиг.5) със стойности в границите от 6 518 екз.м⁻³ в района пред нос Калиакра до 394 екз.м⁻³ пред южния български бряг в зоната на шелфа. Висока плътност бе установена също така във Варненски и Бургаски залив, пред Мангалия и в антициклонния район пред делтата на Дунав. Най-голяма численост на *Noctiluca* бе регистрирана в повърхностни води пред Мангалия (88 398 екз.м⁻³), южно от Маслен нос (82 360 екз.м⁻³) и нос Калиакра (Фиг. 5). Отбелязани бяха широки границите на обилие на копеподният комплекс - от 336 екз.м⁻³ на юг (ст. 603) до максимални стойности пред Мангалия (3 757 екз.м⁻³) и в акваторията на Варненски залив (2 559 екз.м⁻³) (Фиг. 5). В крайбрежните води бе регистрирана значителна плътност на видовете от Cladocera с най-голяма численост южно от нос Калиакра (1 748 екз.м⁻³), и пред Мангалия (1 155 екз.м⁻³), където са измерени високи температури в повърхностния слой (Фиг. 5).

За да бъдат анализирани особеностите в количественото разпределение на мезозoopланктона на отделните станции през изследвания период бе приложен йерархичен клъстерен анализ при трансформация $\log(x+1)$. Станциите бяха

групирани по сходство и представени в дендрограма на сходство по Bray-Curtis. Използваният SIMPER тест дава информация за средното сходство на станциите във всяка от формираните групи, както и оценка на приноса на видовете към вътрегруповото сходство. Чрез този анализ бе оценено значението на отделни видове за междугруповото несходство.

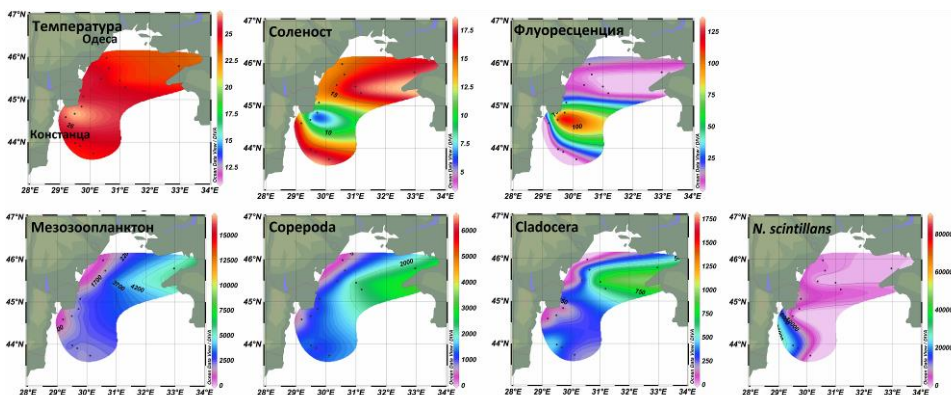
Приложеният клъстерен анализ на матрицата от данни за пролетта на 2006 година разграничи три основни групи с високо сходство (70 %). Значителната численост на *Noctiluca* в крайбрежните антициклонални райони и ниската плътност в отдалечени от брега, определи големият принос на този вид както за вътрегруповото сходство, така и за междугруповите различия. Значението на регистрираните в крайбрежието дълбоководни видове (*P. elongatus* и *Pleurobrachia pileus*) би могло да се обясни с наличните за тях оптимални температурни условия в границите на сеонния термоклин и слоят от студени води под него. Приносът на меропланктонните ларвни стадии на род *Balanus* за диференциране на крайбрежните станции в отделен район се обуславя от биологичните му особености, свързани с типичното местообитание в плитководието и характерните високи репродуктивни темпове през пролетта.

V.2.2. Количествени параметри и пространствено разпределение на мезозoopланктона по основните градиенти на средата през юли-август 2006 г.

През летните месеци (юли и август) на 2006 година в северозападния район (Румъния и Украйна) бе установена двуслойна стратификация по отношение на профилите на температурата и солеността. Измерена бе температура на повърхностните води между 23.5 °C и 27.1 °C (Фиг. 6). Сезонният термоклин бе установен в слоя 10 - 30 м и бе в границите от 24.4 °C до 8.2 °C в румънската и 24.1 - 8.8 °C в украинската акватория. В дълбочина стойностите са относително постоянни. Установен бе слой от студени междинни води с температура във вътрешността ~7 °C и граници 30-55 м.

Солеността в повърхностния слой варира между 6.9 ‰ и 17.5 ‰ (Фиг. 6). Въпреки отбелязаното отслабено влияние на дунавския вток през летния период, в най-приближените райони пред делтата то все още създава условия за формиране на значителен градиент на солеността. В дълбочина стойностите се повишават, достигайки на 50 м до 17.9 ± 0.04 ‰.

Максимална флуоресценция бе отчетена в повърхностния слой и на дълбочина около 20 м в румънския район, докато на север бяха регистрирани три малки пика на дълбочина 10 м, 25 м и 35м. Както през пролетния сезон, така и през лятото 2006 година пик на стойностите в повърхностния слой бе регистриран в района на Сфънту Георге (Фиг. 6).



Фигура 6. Хоризонтални пространствени градиенти на температура [°C], соленост [‰], Флуоресценция мезозоопланктон, Copepoda, Cladocera и *N. scintillans* [екз.м⁻³] в повърхностния слой през юли-август 2006 г.

Разпределението на мезозоопланктона и *N. scintillans* в хоризонтално направление в повърхностния хомогенен слой е представено на фигура 6. Максималните стойности бяха установени в Каркинитски залив (4 995 екз.м⁻³). В района под делтата на Дунав бе регистрирана най-висока плътност на популацията на *N. scintillans* (21 056 екз.м⁻³). В Каркинитски залив и пред Сфънту Георге беше установена максимална численост на комплексите копепода и кладоцера (Фиг. 6).

През периода юли-август 2006 година клъстерения анализ на матрицата от данни за румънската и украинска акватория разграничи три основни групи със сходство 75 %. Спецификата на съобществото в акваторията пред дунавската делта бе определена в най-голяма степен от високата численост на хетеротрофния вид *N. scintillans*. Районът на обширния северозападен шелф бе отдиференциран от доминирането на високотрофични компоненти на мезозоопланктона – копепода, кладоцери и апендикуларията *O. dioica*.

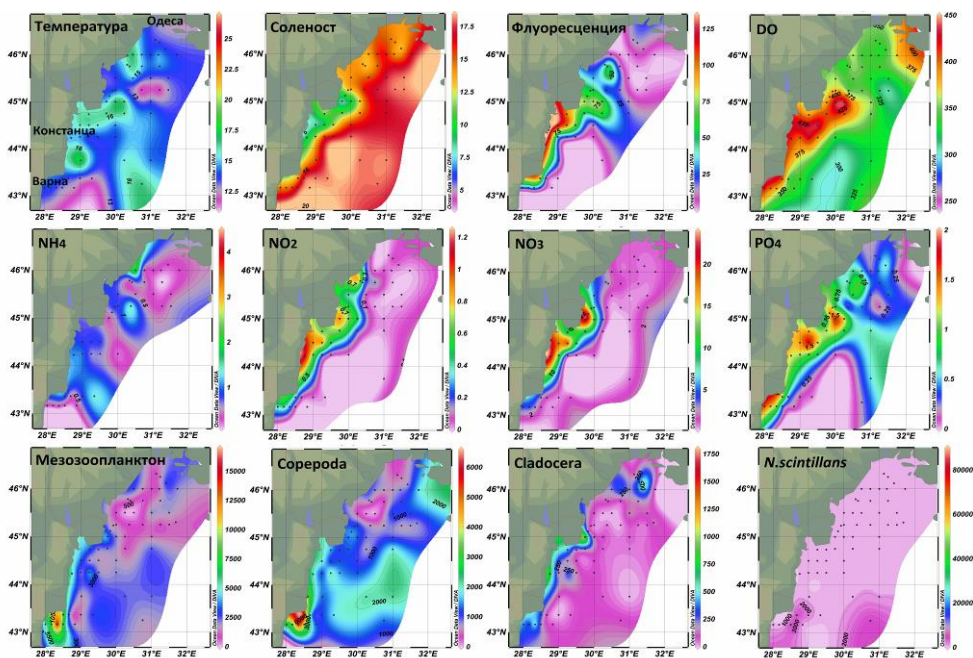
V.2.3. Количествени параметри и пространствено разпределение на мезозоопланктона по основните градиенти на средата през май 2009 г.

През май 2009 година отново бе установена двуслойна стратификация на пелагиала и изразени градиенти на средообразуващите фактори в хоризонтално и вертикално направление.

Повърхностния хомогенен слой бе ограничен в дълбочина в горните 0 - 5 м и бе със средна температура от 13.5 ± 1.2 °C в българския, 14.9 ± 1.2 °C в румънския и 13.9 ± 1.3 °C в украинския участък с тенденция на понижаване в посока към открито море (Фиг. 7). Температурният скок в северозападния район се установява в слоя 5-20 м в румънската акватория и 5-30 м в украинската, а стойностите, които го определят са в границите съответно от

15.3°C до 8.8 °C и от 13.5 до 8.7 °C. В западния сектор той се намира в границите 5-50 м, като температурата намалява в дълбочина от 13.5 °C до 8.5 °C. Студеният междинен слой се характеризира с температура ~7°C в румънския (в слоя 20 - 40м) и ~7.3°C (30 - 40 м) в украинския участък. Пред българския бряг не е формиран.

Средната соленост в повърхностния слой варира от 7.9 до 18.2 ‰ в румънския, 12.7-18.1 ‰ в украинския и 13.5-18.2 ‰ българския сектор (Фиг.7). Влиянието на сладководния вток се отчита на 15-20 мили на север, където се вливат реките Днестър и Днестър до 25-30 мили от брега пред дунавската делта и 15 мили в южните райони, като засяга най-силно повърхностните 10 до 18 м на крайбрежните райони. В дълбочина солеността се повишават, достигайки до 18.3 ± 0.2 ‰ на 50 м и 20.1 ± 0.8 ‰ на 100 м.



Фигура 7. Хоризонтални пространствени градиенти на температура [°C], соленост [‰], флуоресценция, DO [μM], NH4 [μM], NO2 [μM], NO3 [μM], PO4 [μM], мезозопланктон, Copepoda, Cladocera и *N. scintillans* [екз.м⁻³] в повърхностния слой през май 2009 г.

В трите изследвани акватории хлорофилният максимум бе отчетен на дълбочина 10 м, където е измерен пик на флуоресценцията (Slabakova, Slabakova, 2008). В повърхностния слой на пелагиала максимални стойности са отчетени в изключително широкия в сравнение с 2006 година район (Фиг. 7),

простиращ се между дунавската делта и нос Калиакра, като се наблюдава тенденция на намаляване в посока към вътрешността на морския басейн.

Стойностите на разтворен кислород в повърхностния слой бележат максимум в крайбрежието и заливите. Варират между 305.9 μM и 445.5 μM (Фиг. 7). В района пред големите лимани, делтата на река Дунав и българските крабрежни участъци в близост до Калиакра бе оформена зона с максимални стойности на биогенни елементи, намаляващи в открито море (Фиг. 7). Границите в които варира са: $\text{NH}_4 - 0.14 - 2.3 \mu\text{M}$, $\text{NO}_2 - 0 - 1.2 \mu\text{M}$, $\text{NO}_3 - 0.43 - 23.7 \mu\text{M}$ и $\text{PO}_4 - 0.06 - 1.9 \mu\text{M}$. Високите концентрации на биогенни елементи и флуоресценция в тези части на пелагиала обуславят регистрирането на високи кислородни стойности в резултат на интензивна фотосинтеза.

Отчетена бе неравномерност в разпределението на мезозoopланктона в повърхностния хомогенен слой (Фиг. 7) със стойности в границите от 16 248 екз.м⁻³ в района пред Варненски залив (ст. 303) до 22 екз.м⁻³ в украински води. В акваторията на Варненски залив беше регистрирана и максимална плътност на популацията на *Noctiluca* (4 430 екз.м⁻³), с намаляващо количество на север (Фиг. 7). Обилието на копеподният комплекс варира в широки граници от 12 екз.м⁻³ (лимани) до 5 000 екз.м⁻³ пред Варненски залив. Висока численост на Copepoda бе регистрирана в плитководния район пред Констанца и южно от него, както и в акваторията между Каркинитски и Одески залив. В района между Сфънту Георге и Сулина пред устието на реката беше регистриран количествен максимум на кладоцерния комплекс, обусловен от значителната плътност на популацията на *P. polyphemoides* (1189 екз.м⁻³). Високи стойности бяха отчетени също пред Констанца и Варненски залив (Фиг. 7).

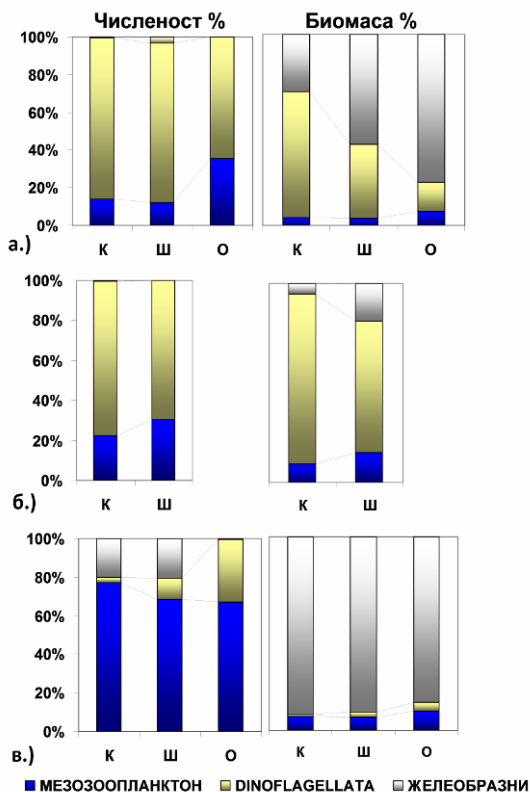
Анализът на пролетните данни от 2009 година разграничи две основни групи с малко сходство - 50 % и трета по-малка група. Диференцираните в изследваната акватория райони бяха отделени от доминиране в зоната на шелфа и открито море на евритермни (*A. clausi*, *P. parvus* и *O. dioica*) и студенолюбиви дълбоководни видове (*P. elongatus*, *O. similis*). За разграничаване на крайбрежните райони в цялата акватория най-голям принос имаха ларвите на бентосни безгръбначни (Lamellibranchia veliger, Gastropoda veliger, Cirripedia nauplii и cypris, Polychaeta larvae) и умерено топлолюбиви (*P. polyphemoides*) и топлолюбиви (*P. avirostris*) кладоцери.

Спецификата и границите на формираните през целия периода на изследване райони бяха обусловени от екофизиологичните особености на мезозoopланктрите. В районите с отчетени максимални концентрации на биогенни елементи беше регистрирана и значителна плътност на популацията на *N. scintillans* през пролетта на 2006 година.

V.3. Структура на мезозoopланктонното съобщество

Поради специфичните предпочитания към различните фактори и комбинации от тях, разпределението на зоопланктерите и на групите, в които

попадат показват значителни колебания не само по оста крайбрежие - открито море, но и в дълбочина. Количеството и съотношението между отделните компоненти на зоопланктона оказват влияние върху интензитета на конкурентните и хищнически отношения в съобществото, както и върху степента на въздействие върху първичните продуценти (грейзинг преса).



Фигура 8. Процентно разпределение на компонентите на зоопланктонното съобщество в северозападния и западен района на Черно море през а.) юни 2006 г., б.) юли-август 2006г. и в.) май 2009 г. (К - крайбрежие, Ш - шелф и О - открито море).

През юни 2006 година характерът на съобществото бе определен от числено доминирането на *Noctiluca* (85 % от средната численост) с намаляващо влияние в посока към открито море и в дълбочина, като същевременно бе установено нарастване на дела на мезозоопланктона в тези направления (Фиг. 8 а). Динофлагелатата и желеобразният планктон са с изравнени пропорции по отношение на средната биомаса за района (~ 48 %), но тенденциите в посока към вътрешността на басейна са противоположни. В

отдалечените от брега райони силно въздействие оказва *P.pileus*, формираща голям дял от биомасата под повърхностния слой.

През лятото (юли-август) на същата година в плиткия северозападен шелф бе отчетена значителна хомогенност в структурата на мезозoopланктона в обема на пелагиала. В северозападната акватория бе отчетено доминиране на нискоτροφичния планктон (75 % от средната численост и 89 % от средната биомаса), като с отдалечаване от брега стойностите намаляват. Мезозoopланктонът формира 25 % от средната численост и 11 % от средната биомаса с тенденция на покачване на дяловете в зоната на шелфа (Фиг. 8).

През май 2009 година бе установено числено доминиране на високотрофичната част на съобществото (73 % от средната численост) със слаб спад по оста крайбрежие - открито море и противоположна тенденция по отношение на биомасата. Популационната плътност на *Noctiluca* бе ниска (7 % от средната численост и 2 % от биомасата) с максимални стойности в дълбоководните райони. По отношение на биомасата с най-голям дял в структурата бяха желеобразните организми (90 % от средната биомаса) с максимални стойности в зоната на шелфа и открито море (Фиг. 8).

Във високотрофичната част на съобществото през 2006 и 2009 г. доминираща бе групата на Copepoda (58.3 ± 1.2 % от средната численост и 73.3 ± 15.0 % от средната биомаса на мезозoopланктона) с нарастващо значение в посока към открито море и в дълбочина. Останалите мезозoopланктонни групи бяха установени с най-високи проценти в повърхностните слоеве.

Екофизиологичните особености на мезозoopланктерите определят еднакъв модел на вертикално разпределение в пелагиала на цялата северозападна и западна акватории. Бентосният ларватон, топлолюбивите кладоцери (*Penilia avirostris*, *Evande spinifera*, *Pseudevadne tergestina*) и копеподи (*A. clausi*, *A. tonsa*, *Centropages ponticus*, *P. parvus*) формират структурата на съобществата в крайбрежието и в хомогенния повърхностен слой на пелагиала, а в дълбочина и в посока открито море се увеличава влиянието на батиопланктерите (*Calanus euxinus*, *P. elongatus*, *Oithona similis*, *P. pileus*).

V.4. Видово разнообразие на мезозoopланктона в северозападната акватория на Черно море

Разгледани са особеностите в структурата на мезозoopланктонния комплекс, като за целта са използвани индексите: общ брой видове в пробата (**S**), индекс на Margalef за общо видово богатство (**d**), индекс за изравненост в съобществото по Pielou (**J'**) и индекс за индивидуално видово разнообразие на Shannon-Weaver (**H'**).

Според предложената класификация на крайбрежните водни тела (ОЕСКВ–РДВ 2013), през месец юни 2006 година индексът на Shannon-Weaver по численост H' (**N**) в българската акватория отразява много лошо състояние южно от нос Калиакра и на ст.КТ и лошо във Варненския залив. Умерено състояние бе регистрирано на ст. 201, в близост до нос Калиакра. Условното

използване на класификационната система за румънската акватория отразява лошо състояние с едно изключение - ст. 278А (южно от Сфънту Георге - над 2 bit.ind⁻¹ (умерено).

През месец май 2009 година индексът на Shannon-Weaver за цялото северозападно крайбрежие бе над 2 bit.ind⁻¹ (умерено) на 90 % от станциите. В българската акватория добро екологично състояние по отношение на този индекс бе отчетено в 3 милната зона пред нос Галата и нос Калиакра. Условното прилагане на индекса за румънският и украински райони, отчита добро състояние в крайбрежието пред Констанца, южно от Сфънту Георге и в Одески залив и лошо и много лошо състояние в близост до лиманите на южното украинско крайбрежие.

V.5. Анализ на особеностите в количественото разпределение на мезозoopланктона и зависимостта му от факторите на средата

За откриване на модели на разпределение на изследваните зоопланктонни групи по отношение на параметрите на средата в повърхностния слой на пелагиала в северозападния район на Черно море, бе използван класически факторен анализ по метода на главните компоненти (ГК). Входящите матрици включват както абиотични фактори на средата, свързани с пространственото разпределение на химичните (биогенни елементи и кислород) и физични параметри (температура и соленост) както и такива характеризиращи разпределението на зоопланктона (численост на мезозoopланктона, както и на основните видове и таксономични групи). След варимакс трансформация бяха анализирани първите три фактора, тъй като четвъртият не съдържа статистически значими факторни тегла. Те обясняват общо около 61% от общата изменчивост.

Първият фактор се корелира положително с числеността на *A. clausi*, *P. parvus*, *O. similis*, както и на групите Copepoda, Appendicularia, меропланктон, мезозoopланктон и обяснява 22% от вариабилността. По този фактор се дискриминират високопродуктивните крайбрежните води и тези под дунавско влияние от откритоморските.

Крайбрежният район и шелфа се дискриминират и по втори фактор. Той се корелира положително с флуоресценцията и азота и отрицателно със солеността.

Положителните факторни стойности на ГК 3, очертават райони с високи стойности на температура, численост на ихтиопланктона и *N.scintillans*.

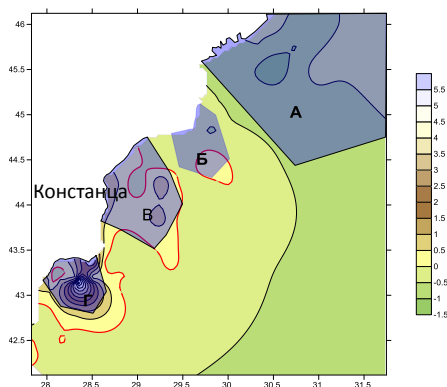
Анализът бе приложен и отделно за всяка матрица от данни за 2006 и 2009 година, като статистически значими факторни тегла съдържат само първите оси, обясняващи съответно 22 % и 30 % от общата дисперсия. Макар с различна конфигурация, и за двата периода се дискриминират два района – крайбрежен и шелф и откритоморски. През 2006 година ГК 1 се корелира положително с високи стойности на температура, азот и мезозoopланктонната

численост. За 2009 година той се корелира положително с високи стойности на солеността и ниски на азот и кислород и обща численост на мезозoopланктона.

Районите, разграничени от факторните стойности на главните компоненти, показват значително припокриване с тези, обособени при описаното в глава V.2. разпределение на стойностите на факторите на средата и количеството на мезозoopланктона в повърхностния слой, където в крайбрежните води се отделят райони с ниска соленост, висока температура, и максимални стойности на биогенни елементи, разтворен кислород, флуоресценция и численост на зоопланктона.

Силата на действащите в периодите на изследване морски течения (<http://www.myocean.eu>) показва тенденция на намаляване в посока към открито море. В крайбрежието и шелфа на преддунавската и българската акватории са регистрирани силни северни течения, докато в украинската те са значително по-слаби, като това определя голямото им значение за формиране на описаните вече хидрофизичните и хидрохимични характеристики на средата и особеностите в разпределението на мезозoopланктона.

На база на разпределението на факторните стойности (Фиг. 9) на главни компоненти 1 за 2006 и 2009 бяха разграничени четири специфични района, като под внимание са взети също така границите на въздействие на морските течения през периодите на изследване.

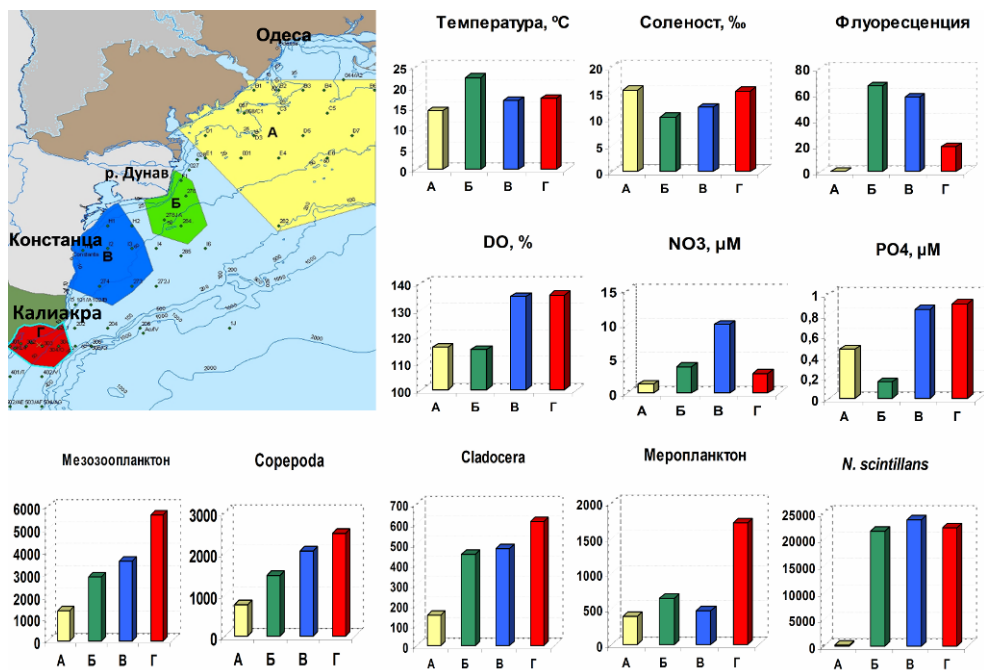


Фигура 9. Схеми на разпределение на факторните стойности на главни компоненти 1 през 2006 и 2009 година със съответните формиращи райони в българска, румънска и украинска акватории.

Първият район (А) обхваща изцяло крайбрежието и шелфа на украинския сектор на Черно море (Фиг. 10), като с изключение на относително високата средна соленост, установените минимални стойности на всички останали параметри на средата и 2 до 4 пъти по-ниската численост на мезозoopланктона го отличават в голяма степен от останалите. Друга особеност обуславяна от трофичния потенциал на средата е ниската плътност на популацията на

хетеротрофната динофлагелата *N.scintillans*. Въпреки слабите морски течения в района той се определя като нестабилен в хидрологично отношение поради плитководният му характер.

Районът пред делтата на река Дунав (Б) бе обособен въз основа на малък брой станции, с повлияни от пресноводния вток физико-химични параметри на сравнително висока зоопланктонна численост (Фиг. 10). Формираната зона бе с най-ниска соленост, максимални стойности на температура, флуоресценция и концентрация на амоняк, както и умерени количествени параметри на мезозоопланктонното съобщество, което се характеризира с голямото количество яйца и ларви на риби, *N.scintillans* и хищната хетогната *P. setosa*.



Фигура 10. Особенности на формираните райони от разпределението на факторните стойности на главни компоненти 1 за 2006 и 2009 година в северозападната акватория на Черно море.

Третият район (В) бе определен като повлиян от река Дунав и се намира в румънската акватория южно от делтата ѝ (Фиг. 10), където се регистрират силни морски течения. Характеризира се с високи концентрации на фосфати, нитрати и висока кислородна наситеност, както и значителна флуоресценция и плътност на популацията на *Noctiluca*. Отчитат се също по-ниски стойности на температурата и повишаване на солеността и мезозоопланктонната численост.

Последният район (Г) бе обособен между нос Калиакра и нос Галата в българския черноморски сектор (Фиг. 10) и се характеризира с максимална концентрация на фосфати и висока кислородна наситеност. Популацията на *N.scintillans* запазва високата си плътност със стойности, близки до тази, установени в румънските води. Тук бе отчетена най-висока численост на мезозoopланктона и главните му групи - Copepoda, Cladocera и меропланктонни ларви на бентосни организми.

Комбинациите от факторите на средата, разграничаващи четирите района в изследваният северозападен сектор на Черно море, обуславят специфичните количествени характеристики на мезозoopланктона в тях, като се отбелязва плътностен градиент в посока от северозападната към западната акватория.

V.6. Оценка на съвременното състояние на мезозoopланктонното съобщество в северозападната акватория на Черно море

За оценка на съвременното състояние на мезозoopланктонното съобщество в българската акватория на Черно море са използвани следните индикатори предложени в ПОСМОС (2013): процент от биомасата на копеподите (**CB%**), процент от биомасата на *Noctiluca scintillans* (**N.sci**), видово разнообразие на мезозoopланктона **H'(B)**, биомаса на мезозoopланктона (мг.м^{-3}), като на всеки от приложените индекси бе дадена еднаква тежест, за да се направи крайната оценка на състоянието на съобществото.

Индексите базирани на зоопланктонния компонент са първоначално изследване, което търпи развитие и усъвършенстване с прилагането на нови метрични единици, както и със създаването на интегриран индекс, който да обединява и същевременно да калибрира различията на отделните индекси. Прилагането им за румънската и украинска акватории няма за цел оценка на съобществата в тях и служи единствено за сравнение на стойностите.

В цялата северозападна акватория през пролетта на 2006 година състоянието се оценява като "не добро", докато през 2009 година индексите отразяват "добро състояние" за цялата румънска акватория и пред българското и украинско крайбрежие.

Меропланктонни организми разграничават големите заливи и районът на нос Калиакра като зони с висока биомаса и видово разнообразие.

Доминирането на *N. scintillans* се отразява върху планктонната фауна в понижаване на стойностите на индексите за видово разнообразие на Shannon-Weaver и CB% (процент от биомасата на копеподите).

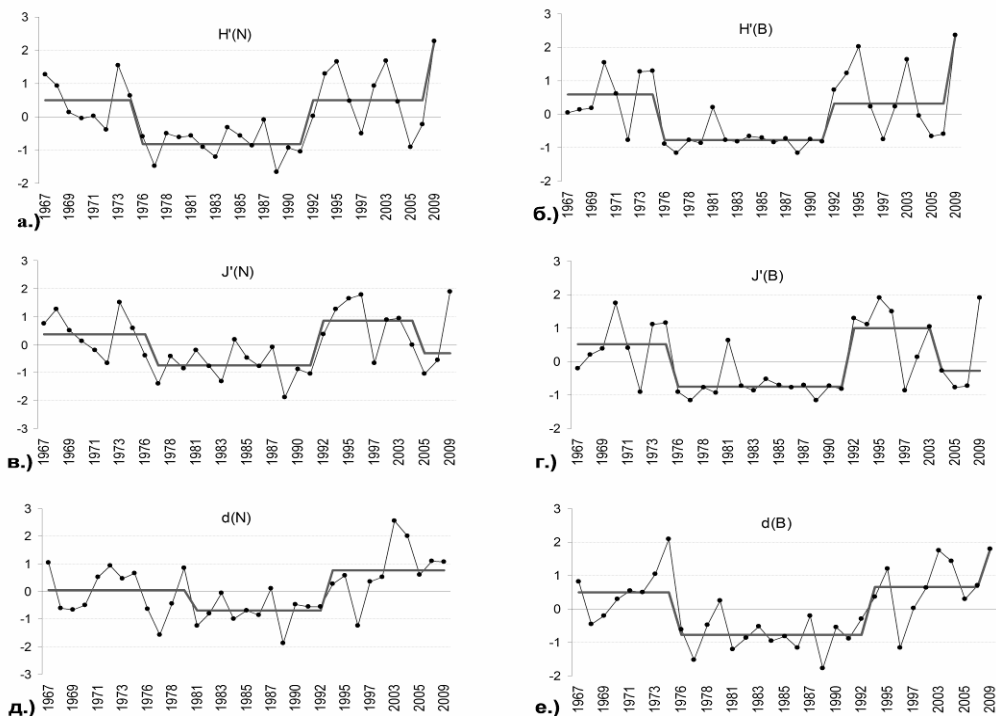
V.7. Тенденции в динамиката на мезозoopланктонното съобщество пред българския бряг на Черно море

В тази глава са проследени основните тенденции в динамиката на мезозoopланктона пред българския бряг. Анализирани бяха дългогодишни данни за качествения и количествения състав на съобществото през пролетния сезон на станции, разположени на 3, 10, 20 и 30 мили пред нос Галата и нос

Калиакра, които отчитат известно възстановяване на мезозоопланктонното съобщество в съвременния период от развитието на екосистемата.

Появяват се чувствителни копепода (*C.ponticus*, *Anomalocera patersoni*) и кладоцери (*P.avirostris*, *E. spinifera*, *E. nordmanni*, *P. tergestina*).

Нараства делът на слабо застъпеният през периода на еутрофизация копепод *P. parvus* (константен в настоящите условия), докато този на опортюнистът *A. clausi* бележи спад. В количествените параметри на главните групи на мезозоопланктона се регистрират повишени стойности на бентосния ларватон и кладоцерите.



Фигура 11. Динамика в пролетните стойности по численост (N) и биомаса (B) на индексите за (а, б) видовото разнообразие (H'), (в, г) изравнеността (J') и (д,е) общото видово богатство (d) на станция 3 мили по трансект нос Галата.

Най-ясен сигнал е отчетената рязка промяна (regime shift) в пролетните стойности на индексите за биоразнообразие (Фиг. 11), поради отслабеното влияние на *N. scintillans*, *A. aurita* и *M. leidyi* (Михнева, 2011).

Установените тенденции на възстановяване на мезозоопланктонното съобщество са нестабилни, поради големите междугодишни отклонения във всички тези параметри и отчитащите се все още високи количества на *N.scintillans*.

VI. Обобщени резултати и изводи

1. Ясно пространствено диференциране на райони по отношение на фаунистичния състав на мезозоопланктона в изследваната северозападна и западна акватория не бе установено (междугрупово сходство $65.5 \pm 8.7\%$). Липсата на значими различия се определя от константните видове ($pF \geq 70\%$) *A. clausi*, *P. elongatus*, *P. parvus*, *O. dioica* и велигеровите ларви на миди. Независимо, че миксохалинните и сладководни зоопланктери регистрирани пред румънски и украински брегове, разграничават северозападния район от западния, значимостта им в структурата на мезозоопланктона е твърде ниска, за да се използва като фактор за райониране.

2. Най-голям брой мезозоопланктонни видове и надвидови таксони е установен в румънския участък (34), следван от украинския (30) и българския (27). Фаунистично богатство в граничната зона между речната и морска екосистеми е високо, поради присъствието на миксохалинни и сладководни видове и е едно от израженията на екотонни ефекти между стоящи и течащи басейни (Кожухаров, 1995).

3. Установено бе, че *N. scintillans* допринася за големите междугрупови различия през пролетта на 2006 година, разграничавайки ясно районите с високи концентрации на биогенни елементи и висока популационна плътност на динофлагелатата (румънска и българска акватории) от слабо повлияният северен район.

4. Екофизиологичните особености на мезозоопланктерите определят еднакъв модел на вертикално разпределение в пелагиала на цялата северозападна и западна акватории. Бентосният ларватон, топлолюбивите кладоцери (*Penilia avirostris*, *Evande spinifera*, *Pseudevadne tergestina*) и копепода (*Acartia clausi*, *A. tonsa*, *Centropages ponticus*, *Paracalanus parvus*) формират структурата на съобществата в крайбрежието и в хомогенния повърхностен слой на пелагиала, а в дълбочина и в посока открито море се увеличава влиянието на батиопланктерите (*Calanus euxinus*, *Pseudocalanus elongatus*, *Oithona similis*, *Pleurobrachia pileus*).

5. В пространственото разпределение на мезозоопланктона е характерен класическия модел на намаляване на числеността и биомасата в посока крайбрежие - открито море в съответствие с обособените пространствени градиенти във всички физични (намаляване на температурата, увеличаване на солеността) и химични фактори (намаляване на биогенните елементи) на средата.

6. Въз основа на приложения факторен анализ се разграничават четири характерни пелагични хабитата в изследваната северозападна акватория на Черно море със специфични граници на стойностите на факторите на средата и количеството на мезозоопланктона в повърхностния слой. Установен бе плътностен градиент в посока от украинския сектор (минимални стойности на параметрите на средата и 2 до 4 пъти по-ниската численост на

мезозоопланктона) към високопродуктивните райони под дунавско влияние и нос Калиакра

7. Пелагиалът в антициклоните области между бреговата линия и ръбът на основното черноморско течение се разграничава като район със специфично високо обилие на групите *Copepoda* и *Cladocera* (пред делтата на Дунав, Констанца и Калиакра). Високопродуктивните крайбрежни зони (делтата на Дунав, Калиакра, Варненски и Бургаски залив) се обособяват като райони с ниска соленост, висока температура, високи концентрации на биогенни елементи, разтворен кислород, флуоресценция и максималната плътност на мезозоопланктона.

8. Динамиката на характеристиките на мезозоопланктона в дългогодишен контекст (периода 1967-2009 г.) определя тенденции на възстановяване на мезозоопланктонното съобщество пред българския бряг: повишено количество на бентосния ларватон и кладоцери; поява на чувствителните *C.ponticus*, *P.avirostris*, *E. spinifera*, *E. nordmanni*, *P. tergestina*; нарастване на делът на слабо застъпеният през периода на засилена еутрофизация копепод *P.parvus* (константен в настоящите условия); спад в количественото развитие на видове опортюнисти (*A.clausii*); и отслабено влияние на *N.scintillans*, *A. aurita* и *M.leidy*; рязко повишаване (regime shift) в пролетните стойности на индексите за биоразнообразие. Величината на междугодишните отклонения на тези параметри и количествената динамика на *N.scintillans* окачествява тези положителни тенденции като нестабилни.

9. Стойностите на приложените индекси за оценката на екологичното състояние на българската акватория през двете изследвани години не характеризират еднозначно състоянието на мезозоопланктонното съобщество. Екологичното състояние на пелагичните хабитати през пролетта на 2006 г. в цялата северозападна акватория и пред българския бряг се категоризира като "не добро". През 2009 година индексите категоризират като "добро състояние" цялата румънска акватория, българското и украинско крайбрежие. Индикаторът "Процент на биомасата на *N. scintillans*" повлиява и стойностите на индексите за видово разнообразие на Shannon-Weaver и CV% (процент от биомасата на копеподите).

VII. Приноси

Приноси с оригинален характер:

1. За първи път е направено изследване на качественият състав и количествени параметри на планктонната фауна по екологичните градиенти на средата, обхващащо цялата северозападна и западна акватории на Черно море.
2. Диференцирани са четири пелагични хабитата в изследваната акватория на база специфични физико-химични, хидрологични характеристики и мезозoopланктонни съобщества.
3. Приложени са унифицирани критерии и индикатори за оценка на екологичното състояние на цялата северозападна акватория.
4. Като зона със специфични физикохимични и биологични параметри се отличава районът на нос Калиакра, което би представлявало интерес от гледна точка на националната мониторингова стратегия.

Приноси с потвърдителен характер

1. Потвърждава се класическият модел в пространственото разпределение на мезозoopланктона в пелагиала в посока крайбрежие - открито море и по вертикала.
2. Потвърждава се нестабилното състояние на мезозoopланктона в повлияните от втока на води от р. Дунав и други по-малки реки изследвани акватории.

Научни публикации по темата на дисертационния труд:

1. **Стефанова Е. 2010.** Таксономична структура на зоопланктонното съобщество в северозападната и западна част на Черно море през лятото на 2006 година. **Известия на Съюза на учените – Варна, Морски науки, ISSN 1310-5833, 84-91.**
2. **Stefanova E., A. Konsulov, K. Stefanova, L. Kamburska 2010.** Spatial distribution of zooplankton community in the northwestern Black sea (Bulgarian and Romanian coasts). **Tenth International Conference of Marine Sciences and Technologies, Black Sea 2010, ISSN 1314-0957, 235 – 242.**
3. **Stefanova E ., K. Stefanova, D. Kozuharov 2012.** Mesozooplankton Assemblages in the Northwestern Part of the Black Sea. **Acta Zoologica Bulgarica, 64 (4), ISSN 0324-0770, 403-412 .**

Благодарности

Изказвам благодарност на ръководителите ми проф. д-р Асен Консулов, доц. д-р Димитър Кожухаров и проф. д-р Снежана Мончева за изключително полезните съвети и насоки, както и за подкрепата им.

Отправлям специални и най-сърдечни благодарности за безрезервната подкрепа и търпението към гл. ас. Кремена Стефанова. Признателна съм не само за топлото отношение и всеотдайността, но и за оказаната помощ в усвояването на необходимите полеви и лабораторни умения, за всички полезни напътствия и предоставени възможности.

Изключително голяма благодарност изказвам на гл. ас. Виолета Слабакова, доц. д-р Валентина Дончева и доц. д-р Веселина Михнева (ИРР – Варна) за направените коментарите, препоръки, както и за подкрепата им.

Признателна съм също на настоящият ръководител на секцията, доц. д-р Валентина Тодорова, както и на д-р Марина Панайотова, доц. д-р Ценка Консулова и на всички колеги от секция "Биология и екология на морето" за отзивчивостта, съветите и подкрепата, както и за създадената от тях приятна работна атмосфера.

Изказвам голяма благодарност към проф. д-р Галина Щерева и към целия екип на секция „Химия на морето“ за предоставените данни за химичните параметри на пелагиала през периода на изследване.

За данните от CTD измервания, получени със съдействието на проф. д-р инж. Атанас Палазов, благодаря на гл. ас. Надежда Вълчева, гл. ас. Христо Станчев и Анатоли Апостолов (ИО – БАН, Варна).

Благодаря на проф. Асен Консулов, гл. ас. Кремена Стефанова и д-р Людмила Камбурска за предоставените проби от експедиции на JRC и GEF от 2006 година, както и за дългогодишния ред от данни за трансекти нос Галата и нос Калиакра.

Impact of ecological gradients on the mesozooplankton structure and dynamics on the Northwestern aquatory of the Black Sea
Elitsa Stefanova

Supervisors: Prof. Asen Konsulov, Assoc. Prof. Dr Dimitar Kozuharov

and Prof. Dr Snejana Moncheva

Key words: Marine zooplankton, quantitative composition, indicators, gradients of environmental factors

Abstract:

The aim of the present study was to analyze and assess the state of the mesozooplankton - species composition, quantitative and structural parameters of community on the environmental gradients in the northwestern part of the Black sea and comparative analysis with previous studies and assessment of present environmental conditions based on the mesozooplankton indicator categories developed for MSFD.

The zooplankton data collated in this study is derived from two Black Sea regions: North-Western (NWBS) along the Romanian and Ukrainian coasts and Western (WBS) in front of the Bulgarian coast. Three sampling cruises in June 2006, July-August 2006 and May 2009 were carried out on board the R/V “Akademik” of the Institute of Oceanology –BAS, Varna. Samples were collected by vertical hauls in different depth layers using a Juday quantitative net (0.1 m² mouth opening area, 150 µm mesh size). As a whole, 239 zooplankton samples were collected from 125 sites in the northwestern area (Fig. 1, 2, 3). Species abundance per cubic meter was calculated according to Dimov’s method (Dimov 1959). Biomass (mg.m⁻³) was estimated by using individual standard weights (Petipa 1959). Simultaneously with the zooplankton sampling, some hydrophysical and hydrochemical parameters were measured *in situ* by Seabird Electronics CTD Device: temperatures (°C), salinity and fluorescence. Also there was included data on nutrients and oxygen concentration. To present the dynamics of the zooplankton community development in front of the Bulgarian coast were used monitoring data along transects Cape Galata (1967-2005) and Cape Kaliakra (1981-1997).

Statistical analyses were performed using the statistical software PRIMER 5 (PRIMER-E Ltd. 2001) and Ocean Data View (Schlitzer, 2014).

A total of 38 zooplankton species and taxa were identified in the study area distributed among the phyla Myzozoa, Cnidaria, Ctenophora, Nematoda, Annelida, Mollusca, Arthropoda, Chaetognatha and Chordata. The phylum Arthropoda was the most diverse (18 species and 6 taxa). Only mixohaline and freshwater zooplankters distinguished the northwestern region from the western.

There were reported gradients of the physical and chemical environment parameters and mesozooplankton community along the coast-open sea axis. Nested patchiness was a common feature of mesozooplankton communities and spatial

heterogeneity occurs on a hierarchical continuum of scales. Zooplankton quantitative attributes manifested a classical pattern of surface distribution: a decreasing trend along the coast – open sea axis. The stability of ecosystem and its trophic potential were confirmed by the high spring mesozooplankton density parameters. High numerical abundances were found in anticyclonic gyres (Constantza and Kaliakra) with predominant mesozooplankton distribution in the waters between the coast and Rim Current. Maximum mesozooplankton abundance is registered along the coastline with very productive waters areas (Danube delta, Kaliakra, Varna and Burgas bays) in comparison with the other regions of the Black Sea.

The PCA analysis distinguished four regions in the northwestern area with specific combinations of environmental parameters and quantitative characteristics of the mesozooplankton, indicating a density gradient in the direction from Northwest (low productive Ukrainian area) to the West (Danube influenced region and Cape Kaliakra).

The applied indices for the ecological status assessment of pelagic habitats in the spring of 2006 in the entire northwestern area and to the Bulgarian coast was categorized as "not good." In 2009 indices categorized as "good condition" whole Romanian aquatory and Bulgarian and Ukrainian coastal areas. *Noctiluca* was found to influence the indices of species diversity of Shannon-Weaver and CB% (percentage of the biomass of copepods).

The long-term data (1967-2009) on the Bulgarian area shows some trends of recovery of the mesozooplankton community.