

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

Кремена Благовестова Стефанова

**СЪВРЕМЕННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА
СЪСТОЯНИЕТО НА ЗООПЛАНКТОНА В
СИСТЕМАТА БЕЛОСЛАВСКО-ВАРНЕНСКО
ЕЗЕРА-ВАРНЕНСКИ ЗАЛИВ**

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: **01. 06.11:** „Хидробиология“

Научно направление „Зоопланктон“

Научен ръководител:

Проф. дбн Асен Консулов ИО-БАН

Научен консултант:

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. Фритъф Нансен“ на Българска Академия на Науките, състояло се на 13.08.2014 г.

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

Представеният дисертационен труд е с обем от 193 страници текст, съдържа 8 глави, 69 фигури, 25 таблици, 1 приложение. Списъкът на цитираната литература включва 251 заглавия, от които 89 на кирилица, 162 на латиница и 2 интернет сайта.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 05.12.2014 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. Проф. д-р Снежана Петрова Мончева – ИО - БАН, Варна
2. Проф. дбн Марияна Владимирова Филипова – Маринова - ПНМ-Варна
3. Проф. дбн Иван Стоянов Доброволов - ТУ - Варна
4. Доц. д-р Веселина Василева Михнева – ИРР - ССА – Варна
5. Доц. д-р Валентина Русева Тодорова - ИО - БАН, Варна

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

I. Увод

Екологичното значение на зоопланктона се определя от неговото таксономично разнообразие, разпределение, биомаса и продуктивност, както и от доминирането на видове, влияещи върху структурата и функционирането на пелагичната екосистема [Verity, Smetacek, 1996]. Зоопланктонът представлява интерес, поради голямото разнообразие на включените в състава му организми от различни систематични групи, в това число бентосен ларватон и ихтиопланктон.

Развитието и разпределението на зоопланктона в пространството и времето са в тясна връзка с кръговрата на веществата и преноса на енергията от повърхността към дъното. Зоопланктонът е свързващото звено между първичните продуценти на органична материя (фитопланктон) и консументите от по-висок ранг [ICES Zooplankton Methodology Manual, 2000]. Той се отличава с висока биопроductивност, допринася за увеличаването на планктонната биомаса и съставлява значителна част от хранителния ресурс на организмите-планктонофаги. Зоопланктонното съобщество е динамична система със структура, променяща се с изменението на хидрологичните, хидрофизикохимичните и екологичните условия на биотопа. На тези изменения, то реагира с промени в качествения състав и количествената застъпеност на видовете (Консулов, 1975, 1991а).

В изолирани, фаунистично бедни водоеми се формират съобщества със занижена напрегнатост на конкурентните взаимоотношения, което води и до по-ниска екологична валентност на населяващите го видове (Zaitsev, Alexandrov 1997). Подобен пример е комплексът Белославско-Варненско езеро и Варненски залив. След поредица външни намеси, водещи до свързването на езерата и впоследствие със залива, Варненско езеро и Белославско езеро загубват пълната си автономност, като взаимно си влияят по посока на основните параметри на пелагиала и дъното. Така трите водни басейна могат да се разглеждат като динамична система, която в своето единство, предоставя различни екологични условия както във времето, така и в пространството (в цялата акватория).

Изследванията върху биоиндикаторните свойства на планктонната фауна и използването ѝ в морския мониторинг са особено актуални при транспонирането на Рамковата директива за морска стратегия (РДМС). Същевременно отсъствието на зоопланктона като биологичен елемент за качество (БЕК) в Рамкова директива за водите (РДВ) изисква разработване и тестване на нови зоопланктонни индикатори и класификационна система за оценка на екологичното състояние на крайбрежните води и прилежащите им акватории.

Прилагането на нови методи, разработването на класификационна система за оценка на средата, тестването на зоопланктонни индикатори, анализирането на влиянието на градиентите на средата позволява обективна диференциация и оценка на видовото разнообразие, структурата, разпределението и

екологичното състояние на средата в комплекса Белославско езеро-Варненско езеро-Варненски залив, и стоят в същността на дисертационния труд.

II. Литературен обзор

В глава 2.1 са разгледани някои физикогеографски, хидрологични и хидрохимични и биологични характеристики на Белославско езеро, Варненско езеро, Варненски залив, обуславящи формиране на градиенти на средата.

В глава 2.2 са представени факторите на антропогенен натиск в изследваната акватория.

Според Рождественски (1991), антропогенното влияние върху езерата и залива преминава през 3 етапа. Първият етап е до 1954г., до построяването на завода за калцирана сода. Вторият етап е от 1954 до 1972г., когато в Девненската низина е силно развита химическата индустрия и антропогенното влияние, особено в Белославско езеро, силно нараства. Третият етап е от 1977 до 1990, когато паралелно с проправянето на двата плавателни канала между двете езера и езерата и Варненски залив, влиза в действие пристанище Варна – Запад. През 80-те години, езерата са класифицирани като хиперейтрофни, поради свръхразвитието на фитопланктона, чести цъфтежи, TRIX индекс със стойност над 5, отговарящ на силно еутрофен потенциал (Мончева, 1991 а; Великова&Петрова, 1999а, Moncheva&Doncheva, 2000). Цъфтежите на фитопланктона водят до регулярни нарушения в асимилационните способности на екосистемата, мор на дънни организми и риба (Мончева, 1991а). Измененията във фитопланктонната таксономична структура и свързаните с нея изменения на другите нива от хранителната верига водят до несъответствие и излишък на първичнопродуцираната биомаса и трофичното или биохимичното и усвояване. Това от своя страна води до увеличен седиментационен поток на органично вещество към дъното и съответно до изчерпване на кислорода там. По този начин фитопланктонът допринася за ускоряване на т. нар. вторична еутрофикация. Отношенията фитопланктонна/зоопланктонна биомаса надвишават повече от 5 пъти класическото 10:1 (Moncheva et al., 1995 а).

Съвременния етап обхваща периода от 1990 до сега, , характеризира се с намаляване дейността на индустриалната химия, но запазване транспортната дейност, експлоатацията на ТЕЦ, кораборемонтната активност. Силно еутрофните условия на средата се запазват.

Глава 2.3 съдържа информация за изследванията на зоопланктона в Белославско и Варненско езера и Варненски залив, и включва две подглави.

Подглава 2.2.1 Качествен състав, видово разнообразие и динамика на зоопланктона въвежда в изследванията върху фаунистичния състав, структурата, разпределението, сезонната и годишна динамика на зоопланктона в акваторията езера-залив от началото на миналия век до съвременното. Представено е значението на трофичния потенциал на средата и влиянието на

антропогенния фактор за разпределението на зоопланктона. Проследени са денонощните, сезонни и многогодишни промени в количеството и структурата на мезозоопланктонното съобщество.

В подглава 2.3.2 е засегнат проблема с необходимостта от задълбоченото проучване и разработване на индикатори за оценка на екологичното състояние на крайбрежни морски води и респективно, екологичния потенциал в езерата на база зоопланктона като съпътстващ биологичен елемент за качеството.

Въпросът за влиянието на градиентите на средата, създаването и тестването на зоопланктонни индикаторни категории, разработването на класификационна система за оценка на статуса/поентциала в крайбрежните морски води и езерата е особено важен и актуален и става основа за изследванията в настоящата работа.

III. Цел и задачи

Цел на дисертационният труд е да се диагностицира съвременното състояние на зоопланктонните съобщества в съответствие с градиентите на средата в системата Белославско - Варненско езеро и Варненски залив и да се оценят тенденциите в развитието на зоопланктонния компонент чрез прилагането на нови метрики и индикаторни категории.

В съответствие с поставената цел са формулирани следните задачи:

- Анализ на видовото разнообразие, структурата, разпределението, сезонната динамика на зоопланктонните съобщества във Варненско и Белославско езеро, и Варненски залив в периода 1999-2005.
- Анализ на разпределението и структурата на зоопланктона според градиентите на средата;
- Разработване на класификационна система за оценка състоянието на крайбрежните морски води според зоопланктона по изискванията на РДВ;
- Оценка на крайбрежните морски води според индикаторните категории зоопланктон и разработената класификационна система;
- Сравнителен анализ на историческите данни с настоящите изследвания, определяне на тенденциите в развитието на зоопланктона в езерната и заливна екосистема.

Работна хипотеза: В силно модифицираната, в резултат на човешката намеса система езера-залив определящ фактор при формиране на структурата и пространственото разпределение на зоопланктона е градиентът на еутрофност.

IV. Материал и методи

4. 1. Материал и лабораторна обработка

Материалите за настоящото изследване са събрани по време на 7 научно-изследователски експедиции в хидрологичния комплекс Белославско – Варненско езеро – Варненски залив. Те са проведени през ноември 1999 г., март 2000 г., май-юни и август 2001 г., април, май 2002 г., както и през декември 2004 и май 2005 г. Експедициите са проведени с НИК “Академик”, Военно-хидрографски кораб “Адм. Бр. Орманов”, “Проф. А. Вълканов” и рибарски кораби “Св. Георги” и “Езгим”.

Пробовземането е осъществено по определена мрежа от станции (Фигура 1 и 2). Събрани и обработени са 205 зоопланктонни количествени проби с вертикална двуконусна зоопланктонна мрежа тип “Джеди” с диаметър на челния отвор 36 см и 150 мкм отвор на околото за заливните проби и незатваряща се малка Джеди с диаметър 14.5 см за езерните проби.

Едновременно с пробонабирането във Варненско и Белославско езера са отчитани температура, а в акваторията на Варненски залив температура и соленост със CTD розет система.

За установяване вертикалното разпределение на зоопланктона в залива са проведени изследвания ст.2 (май, 2001). Пробонабирането е осъществено на стандартни дълбочини 10-0 и 20-10 за едно денонощие през 4 часа интервал от време.

Пробите са фиксирани с 4 % разтвор на формалдехид, като преди това се отделят, преброяват и измерват предствителите на Sciphozoa- *Aurelia aurita* и на Stenophora - *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata*.

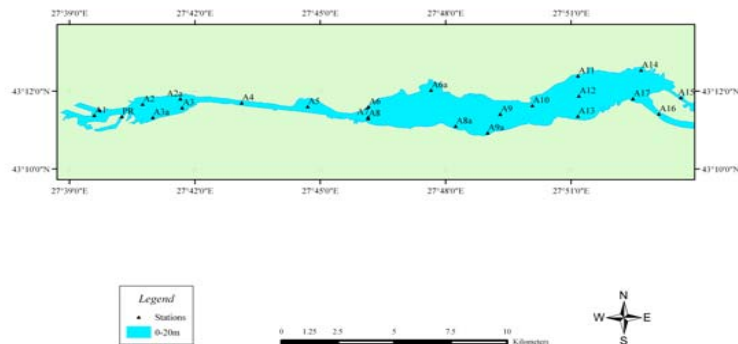
За определяне размерния състав на зоопланктонните организми са взети проби от пет станции във Варненски залив и Варненско езеро (Фигура 3) обработени по проект INTERREG III B CADSES Programme (2000 – 2006) TWReferenceNET – “Management and sustainable development of protected transitional waters”. Измерването на екземплярите е извършено с окуляр-микрометър.

В лабораторни условия обработка на една зоопланктонна проба включва следните етапи:

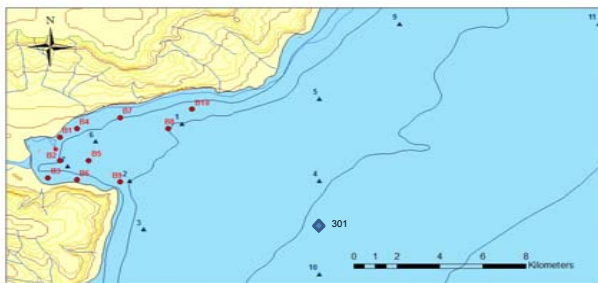
1. Утаяване на фиксираната проба до 100 мл
2. Чрез отдекантиране концентриране на обема до 25 мл
3. След хомогенизиране на пробата приблизително 1/5 от нея се подлага на количествена анализ в бройтелна камера на Димов.
4. За количествената оценка на зоопланктона се използва метода на Димов (1959). Броенето се извършва в десет квадрата, след което се преглежда цялата проба за регистриране на редките видове. Едрите зоопланктери като *Calanus euxinus*, *Parasagitta setosa*, *Decapoda larvae*, *Pisces ova* и *larvae*, се броят в цялата проба. Чрез преобразователен коефициент “К” се преизчислява

числеността на отделните видове на 1 m^{-3} . Биомасата на зоопланктона се установява на базата на индивидуални стандартни тегла (Petra, 1959).

5. За идентифицирането на таксоните са използвани определители на безгръбначната фауна за Черно и Азовско море (Мордухай-Болтовский и кол., 1968, 1969, 1972; Edmondson, 1959; Boltovskoy D., 1999)



Фигура 1. Карта на изследвания район и станции на пробонабиране в Белославско и Варненско езера.



Фигура 2. Карта на изследвания район и станции на пробонабиране във Варненски залив.



Фигура 3. Станции на пробонабиране по проект TWRferenceNET.

За сравнителния анализ са използвани данни от “Екологични изследвания в акваторията на Белославско езеро-Варненско езеро-Варненски залив (1990-1991)” по изпълнението на задача към Община “Варна” и ДОВОС (1998), любезно предоставени от ст.н.с. I ст. дбн. А. Консулов от ИО-БАН, Варна и д-р Л. Камбурска. Използвани са публикувани данни на Димов, Русев (1957), Русев (1957), Консулов (1970, 1971, 1991), Георгиева (1984, 1999), Камбурска (2004) и собствени публикувани и непубликувани данни за периода 1996-2005 г. (Stoyanova & Stefanova, 2001; Kamburska & Stefanova, 2002; Trayanova & Stefanova, 2002; Консулов & Стефанова, 2003; Стефанова & Хинева, 2002; Trayanova et al. 2003; Stefanova, 2003).

4. 2 Индекси, статистически методи и анализ на данните

За оценка на структурата на зоопланктонните съобщества са приложени следните индекси :

- Общ брой видове на една проба S
- Индекс на изравненост J на Pielou (1966) (1)
- Индекс на видово разнообразие H' Shannon-Weaver (1949) (2)
- Индекс честота на разпределение FOi (3)
- Индекс за честота на срещане на видовете pF (4)

Най-достъпния израз за оценка на видовото разнообразие е установяване на общия брой видове на съобществото (S), при който може да се сравнят отделни хабитати или съобщества (Humphries et al. 1996). Установеният брой видове дава представа за моментното състояние на изследвания район, като същевременно е зависим от него (Hayek 1994).

Индексът за изравненост на съобществото се използва като мярка за количеството разнообразие, отнесено към един вид:

$$J = H' / \log_2(S) \quad (1)$$

където H е показател за видово разнообразие; S- броят на видовете, представени в съобществото.

В неповлияни съобщества степента на изравненост клони към максимуму си 1. Стойностите клонят към 0 в условия, различни от оптималните като израз на преразпределението на дяловото участие на видовете, влизащи в състава на съобществото.

Показателят за видово разнообразие е възприет от приложението на теорията на информацията в екологията като мярка за теоретичното относително обилие на всеки от видовете, ако техният дял в съобществото би бил изравнен (Узунов, Ковачев, 2002). Индексът на Shannon - Weaver по численост H(A) и биомаса H(B) се определя по формулата:

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

където:

p_i е относителния дял на вида i или $p_i = (n_i / N)$, където n_i е обилието на вида i , а N -общото обилие (численост, биомаса) на съобществото.

Максималната стойност на H е 5. В естествени условия обаче трудно може да се наблюдават напълно изравнени дялове на предствените видове, поради комплементарното действие на множество фактори на средата (абиотични, биотични, антропогенни) върху състава и структурата на съобществата (Узунов, Ковачев, 2002).

Биологичният анализ включва също определянето на показателите честота на разпределение (3) и честота на срещане (4) за всеки зоопланктонен вид от съобществото. За биоценологичният показател честота на разпределение FOi (статистическо описание на необработените данни, по отношение на броя и честотата на елементите, характеризиращи се от всяка поредица или диапазон от стойности на непрекъснатата променлива), се използва формулата

$$FOi = \frac{\sum F_i}{\sum F} \quad (3)$$

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.

Съответно за установяването на индекса честота на срещане pF , се прилага следната формула:

$$pF = (m / n) * 100 \quad (4)$$

Използвани са коефициенти на сходство и несходство на Bray-Curtis (1957) (5).

$$S_{jk} = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^p |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})} \right\} \quad (5)$$

където 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 ,

$(y_{ij} + y_{ik})$ сума от числеността на i -тия вид в проба j и k .

Коефициентът на сходство на Bray-Curtis се използва за определяне на фаунистичното сходство между двойка станции (проби). Коефициентът варира от 0, при двойка проби, които нямат нито един общ вид, до 100, при двойки проби с напълно идентичен качествен и количествен състав.

Коефициентът на несходство на Bray-Curtis (6) е реципрочен и се определя като:

$$\delta = 100 - S$$

което дава:

$$\delta_{jk} = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^p |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})} \quad (6)$$

За оценка приноса на видовете към вътрегруповото сходство и междугруповото несходство и определяне на типични и дискриминативните видове е приложен **SIMPER анализ** (Clarke, Warwick, 1994). В диференцираните групи по Bray-Curtis, участието на всеки i -ти вид във вътрегруповото сходство е определено чрез средното му участие между всяка двойка от пробите в групата. Чрез този анализ е определено и участието на всеки i -ти вид в несходството (δ) на пробите между групите (7.)

$$\delta_{jk} = 100 \cdot \frac{(y_{ij} - y_{ik})}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})} \quad (7)$$

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

Използван е **Ординационен анализ чрез неметрично многомерно скалиране (MDS)** (Kruskal, 1964, Clarke, Warwick, 1994). Изходна точка на анализа е матрицата на несходство по Bray-Curtis между всички двойки станции, а крайният резултат е двумерна ординация на пробите, които са разположени така, че разстоянието между тях да съответства максимално. Този неметричен метод (MDS) разполага пробите на “карта” по такъв начин, че степенният ред на разстояния между пробите точно съответства на степенния ред на съответните различия или подобия, взети от триъгълната матрица за подобие/неподобие. Измерва се “коэффициентът на стреса”, който отразява степента, до която двете класификации не си съвпадат, като подреждането дава достоверно визуално предствяне на “близостта” на видовата композиция за всеки две проби на несходството им, т.е пробите разположени на най-малко разстояние са най-сходни.

За изследване градиентите на средата и въздействието им върху планктонното съобщество (Kovach., 2007) е приложен многомерния **каноничен анализ на съответствие (Canonical Correspondence Analysis - CCA)**. Методът цели изясняване на връзките между факторите на средата и асоциираните биологични компоненти и същевременно е предназначен да извлече градиентите на средата от екологичните данни. Градиентите са основа за обобщаване и визуализиране на предпочитанията на таксоните към характерни местообитания (ниши) чрез ординационни диаграми (Braak, Verdonschot, 1995). Методът тества дали разпределението на данните за съответните биологични компоненти показват определени екологични модели в географски мащаб и впоследствие разграничава кои параметри на средата кореспондират с таксономичната структура на съобществата (Jongman et al., 1995). Основният резултат от CCA е ординатна диаграма, т.е. графика с координатна система, формирана от координатни оси (т.е. синтетични градиенти, извлечени от CCA). Диаграмата съдържа информация за следните елементи: точки за видове (таксони), станции на пробонабиране, класове на качествени екологични променливи и стрелки за количествените екологични променливи.

За представяне пространственото разпределение и влиянието на градиентите на средата в настоящето изследване са използвани данни от лятото на 1998 г. (ДОВОС), пролетта на 2001г. (експедиция с НИК „А.Вълканов”) и през декември 2004, май и август 2005 (проект

CADSES - TWReference Net), поради голямата гъстота на мрежата на пробовземане и големия брой съпътстващи параметри, позволяващи районирането и категоризацията на акваторията въз основа на широк набор екологични индикатори.

Данните използвани в CCA за хлорофил а и фитопланктон са любезно предоставени от проф. С. Мончева и ас. Н. Слабакова, а химичните параметри - от проф. Г. Шерева.

За представяне на размерната структура на зоопланктона във Варненско езеро и Варненски залив са изградени регресионни модели между логаритъма на нормализираната биомаса и теглата изразени във въглеродни единици – $\mu\text{g C}$ с данни получени по проект CADSES - TWReference Net (декември 2004, май и август 2005). Станциите са подбрани според градиента на биогенните елементи, чиито концентрации намаляват от станция BE5 към станция B31. В разработката са анализирани размерните класове на двете най-крайни точки (Варненско езеро – BE5 и Варненски залив - B31) с цел по-добро диференциране на резултатите. Най-малко 400 екземпляри са измерени с окуляр микрометър във всяка проба за получаването на информация за размера и намирането на теглото по формули описани в Korshenko, Alexandrov 2012.

Показатели на размерната структура са:

- Асиметрия – описва формата на размерното разпределение. При положителни стойности малоразмерните класове доминират, а при отрицателни – голяморазмерните.
- Коэффициенти на детерминация (R^2) на взаимовръзката тегло –биомаса (логаритмувани при основа 2). Стойност близо до 1 е показател за съобщество, близо до равновесно състояние, докато ниските стойности са индикатор за съобщество под стрес под въздействие на външни натиски. (Rodríguez and Mullin, 1986; Sourisseau and Carlotti, 2006)
- Коэффициент на наклона на регресионно уравнение „b”– намалява с нарастване на трофичния потенциал (Rasmussen 1993).

Статистическият анализ на данните е осъществен чрез прилагане на програмни пакети PRIMER 5, разработен от PRIMER-E Ltd, Plymouth и STAT 6 (2001).

Многомерен дисперсионен анализ (MANOVA) - IBM SPSS Statistics, 2011 е приложен за изследване на влиянието на независими променливи върху зависими. Като зависими променливи са избрани различни параметри на зоопланктона като нормализирана биомаса и

логаритмувано при основа 2 тегло, биомаса и индекси. Като независими променливи или фактори са райони и периоди.

V. Резултати и обсъждане

5.1 Структура и разпределение на зоопланктона в системата Белославско езеро-Варненско езеро-Варненски залив.

5.1.1 Качествен състав и видово разнообразие на зоопланктона.

В резултат на проведените фаунистични изследвания в периода 1999-2002 и 2004-2005, са установени общо 43 таксона зоопланктон, от които 29 вида и 14 надвидови таксона. На ниво вид са идентифицирани представителите на систематичните групи: Myzozoa -1, Rotifera -9, Cnidaria - 2, Stenophora – 2, Arthropoda – 13, Chaetognatha – 1, Chordata – 1. Представителите на систематичните групи клас Infusoria, клас Scyphozoa, клас Hydrozoa, сем. Cuscleroidea, разред Naupacticoidea са идентифицирани до съответното посочено надвидово таксономични ниво. Установени са зоопланктонните компоненти – бентосен ларватон и ихтиопланктон, които се отнасят към тип Annelida – 1, Nematelminthes – 1, Molusca - 2, Arthropoda – 8, Chordata – 1 и имат съществено значение в изграждането на езерната и заливна планктонна фауна.

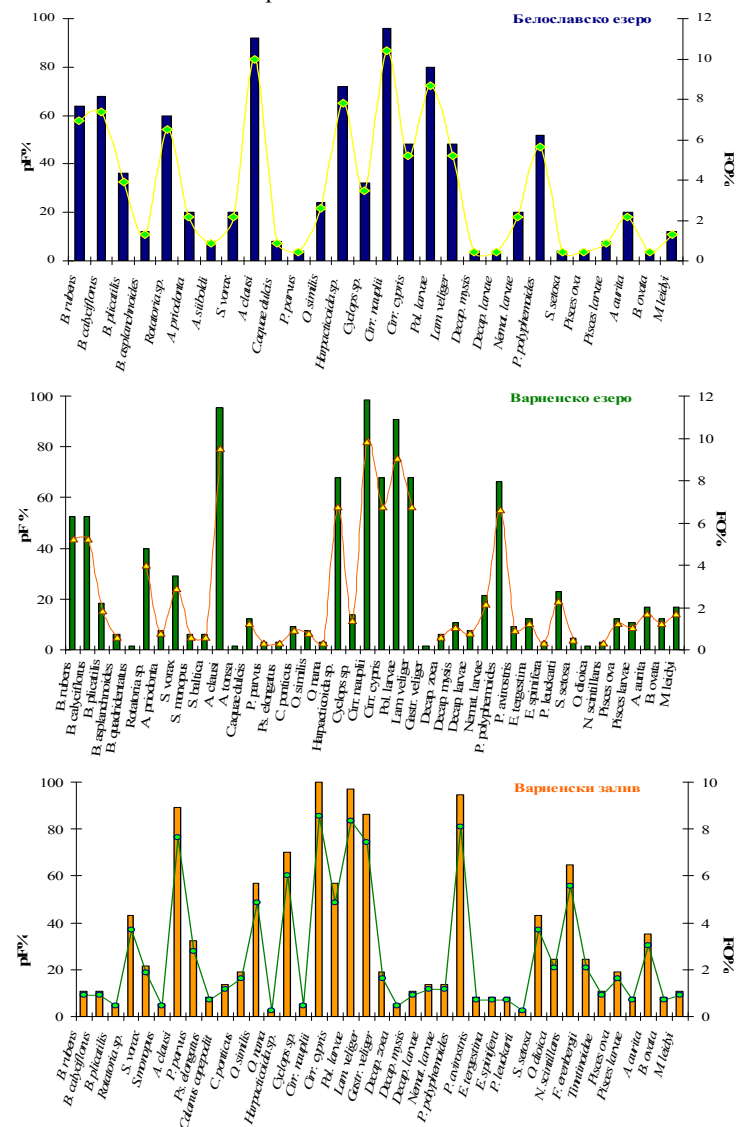
Видовете на тип Rotifera - р. *Brachionus*, *Synchaeta*, *Asplanchna* са съществен компонент от зоопланктонното съобщество особено за езерната екосистема, като градиента на тяхното масово разпространение е в посока от Варненски залив към Белославско езеро. Поради високата им асимилационна способност, те имат важна роля в потока на енергия и цикъла на нутриентите, те са показател за трофичния потенциал на езерата (Makarewicz, Likens, 1979). Честота на срещане на представителите на кл. EuRotifera е над 40 % в цялата система, като най-висок е процентът в Белославско езеро - 70 %, докато във Варненски залив намалява до средно 20 % (фигура 4).

Друг важен елемент на зоопланктона в хидрологичния комплекс езера-залив са представителите на ракообразните от подклас Soropoda и разред Cladocera. Целогодишен вид, със 93 % присъствие в пробите е видът *Acartia clausi*, като евритермен и еврихалинен масово е застъпен в състава на зоопланктонното съобщество в Белославско езеро, Варненско езеро и Варненски залив (фигура 4).

Третата по значимост група обединява ларвните планктонни форми на бентосните организми (Meioplankton), разпространени еднакво в трите водни басейна. С висок процент честота на срещане в състава на зоопланктона са застъпени ларвите на Polychaeta (90 %), Mollusca (*Lamelibranchia veliger*-67 %, *Gastropoda veliger*-3 %), на тип Arthropoda, включващ Cirripedia (*Cirripedia nauplii* и *C. cypris* – 98 %).

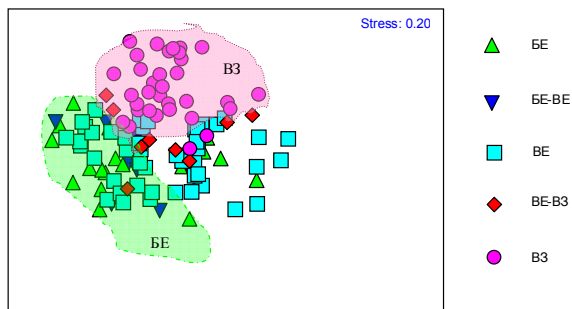
Езерните и заливните акватории според таксономичния състав на зоопланктона се характеризират с висока екологична значимост на ротаторния комплекс в Белославско езеро и съответно намаляване в заливните води,

където делът на копеподите и кладоцерите е по-съществен, и еднаква застъпеност на бентосния ларватон в цялата система.



Фигура 4. Честота на срещане и разпределение на зоопланктонните видове и форми през периода 1999-2005 г. в отделните водни басейни.

Класификационният анализ, приложен върху матрицата на несходствата по Bray-Curtis между всички двойки станции, разграничава Варненски залив като самостоятелна група, докато разликите между двете езера не е силно проявена (Фигура 5). Процентът на средно несходство между Белославско езеро и Варненски залив установен чрез приложения SIPMER анализ е 51%, като основно видовете - *N. scintillans*, *O. similis*, *P. setosa*, *S. vorax* разграничават заливния комплекс от езерния. Процентът на несходство между Белославско и Варненско езеро е 45% и потвърждава наличието на относително единството в качествената структура на зоопланктона в двете езера.

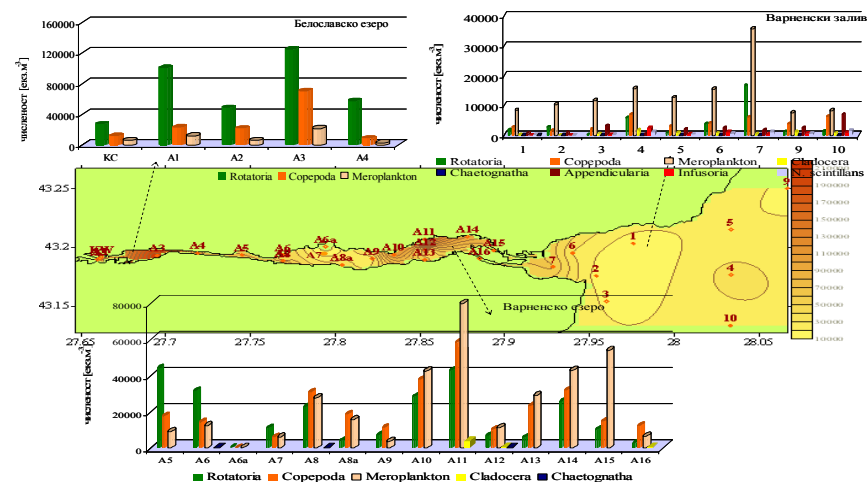


Фигура 5. Групиране на станциите според таксонимичното различие по метода на многомерното скалиране (BE-Белославско езеро, BE-BE – канал Белославско езеро-Варненско езеро, BE- Варненско езеро, BE-B3 – канали Варненско езеро-Варненски залив, B3 - Варненски залив)

5.1.2 Сезонност в структурата и разпределението на зоопланктона.

Пелагичните съобщества като динамични системи, търпят значителни изменения във времето и пространството особено добре изразени в отделните сезони. В тази подглава е представена количествената структура на зоопланктона по численост и биомаса тяхната динамика в съответствие с промените в температурния фактор в сезонен аспект.

Общата численост през есента варира от 466 екз.м⁻³ до 216 721 екз.м⁻³ (59030 екз.м⁻³ □ 52198 SD). Диференцират се две зони с максимални стойности – южният бряг на Белославско езеро (ст. А3-фериботен комплекс) и североизточния бряг на Варненско езеро (ст. А11) (фигура 6). Екстремно ниски стойности (466 екз.м⁻³) са регистрирани на станция А6а, подложена на влиянието на отпадната топла вода, използвана за охладителните системи на ТЕЦ-Варна. Ниските количествени стойности са съпроводени с ниско видово разнообразие.



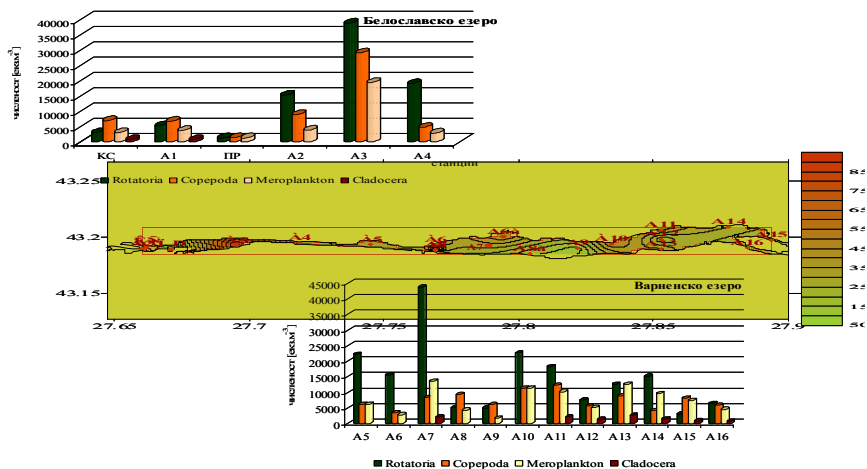
Фигура 6. Структура и разпределение на зоопланктона по численост [екз.м⁻³], ноември 1999 г.

Ключови групи в структурата на зоопланктона по численост са ротаториите (38.5%), копеподите (27.4%) и представителите на бентосния ларватон (31.6%). При водещите групи се установява градиент на намаляване към Варненски залив по отношение на ротиерния комплекс и нарастване на меропланктонния. Делът на ротаториите е най-висок в Белославско езеро с 65% участие и респективно спада до 28% във Варненско езеро и 14% в залива.

Средната биомаса за този сезон е 440.91 мг.м⁻³ като за отделните станции варира от 3.17 мг.м⁻³ до 1462.175 мг.м⁻³. Максимални стойности в езерата са установени на пунктовете с висока численост на зоопланктона и съответно в залива в крайбрежните точки, подложени на езерно влияние.

През март 2000 г. температурният обхват е в границите от 7°C до 12°C. Максимална температура е отчетена пред ТЕЦ „Варна”.

Структурата на зоопланктона в двете езера е представена предимно от евритермните видове на Rotifera и Copepoda, Cladocera и бентосния ларватон, както и някои студенолюбиви видове на същите групи. Приблизително 3 пъти намалява средната численост 30 110 екз.м⁻³ (SD±20 631) на зоопланктона в езерната акватория в сравнение с есента. Диапазонът на вариране на зоопланктонната плътност е от минималните 3 874 екз.м⁻³ до максималните отчетени за сезона 87 660 екз.м⁻³ (фигура 7). Максималните числености на планктонната ценоза са регистрирани в Белославско езеро до фериботния комплекс (ст.А3), във Варненско езеро на северния (ст.А6 и А6а) и южния бряг (ст. А7) до и съответно срещу ТЕЦ “Варна” и в посока на изток на северния бряг на станциите до Казашка махала (ст.А10) и района на старото заустване на градската пречиствателна станция (ст.А11) – фигура 7.



Фигура 7. Структура и разпределение на зоопланктона по численост [екз.м⁻³], март 2000 г.

Пространственото разпределение на планктонната фауна е сходно с тази през есента, т.е. районите с максимални плътности (ст. А3, А10, А11) поддържат висок трофичен потенциал. Широките обхвати на изменение свидетелстват за неравномерното пространствено разпределение на числеността в езерната екосистема.

Двата водни обекта демонстрират почти идентично процентно участие на основните ключови групи по численост. Водеща е ролята на ротаториите с 46% и 48 % участие, следвано от групата на веслоногите рачета (33% и 24%) и ларвите на бентосните организми 19% и 24%. Единствено на станция А16 разположена в новия канал е установено присъствие на *N. scintillans* с 1270 екз.м⁻³ като вероятна причина за попадането на екземпляри от съответния вид единствено там е влиянието на течението от Варненски залив.

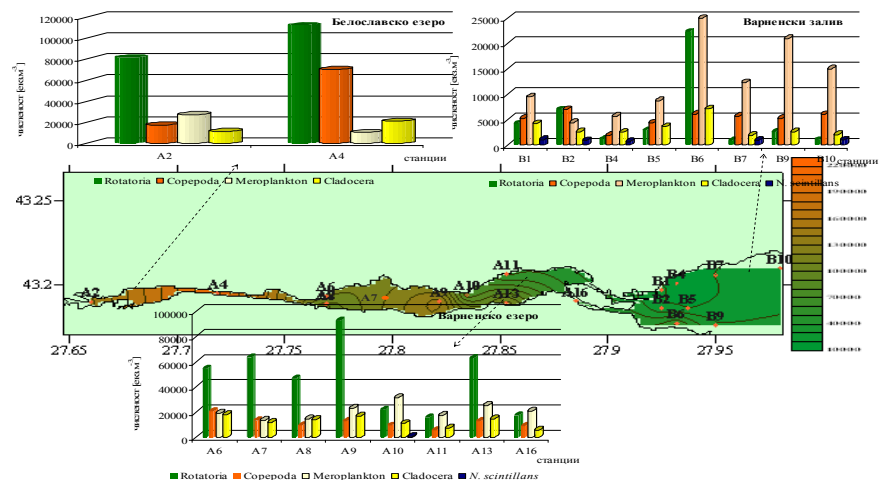
В сравнение с есента биомасата намалява с 1.6 пъти и въпреки флукуациите в стойностите, амплитудата на колебанията е с по-малък обхват, отколкото предходният сезон. Общата биомаса варира от 30.58 мг.м⁻³ до 956.23 мг.м⁻³ със средна стойност 275.54 мг.м⁻³ ±195.21(SD). В структурата по биомаса доминират представителите на Copepoda с 41 % (50 % в Белославско езеро и 36 % във Варненско) за разлика от есента, когато ротаториите преобладават в планктонната фауна по численост и биомаса.

Пролетта е представена с данни от експедиции, проведени в две последователни години - юни 2001 и май 2002, характеризиращи се с известни разлики в термиката на водното тяло. Температурите се колебаят в широк обхват от 10.41°C до 17.6°C (юни 2001 г.) и от 19°C до 25°C респективно за пролетта на 2002 г. Очевидна е разликата в температурите, като градиентът на

намаляване и за двете години е в посока към залива. Температурен максимум е регистриран на станция А8а, разположена до заустването на охладителната система от дейността на топлоелектрическата централа.

Динамиката на средните значения на числеността и биомасата, както и значението на отделните зоопланктонни групи нямат идентичен характер през двете изследвания, въпреки общата тенденция на намаляване в посока запад-изток. През май 2002 количествените параметри надвишават близо 3-4 пъти стойностите от предходната пролет, вероятно в отговор на по-високите температури и на пика в развитието на ларвните бентосни форми.

Числеността на зоопланктона варира в широк диапазон от 11 270 екз.м⁻³ до 213 695 екз.м⁻³ (72 092 екз.м⁻³ ± 56 056) за 2001 г. и от 47 229 екз.м⁻³ до 748 249 екз.м⁻³ (259 529 екз.м⁻³ ± 183 811) за 2002 г, респективно (фигура 8 и 9).



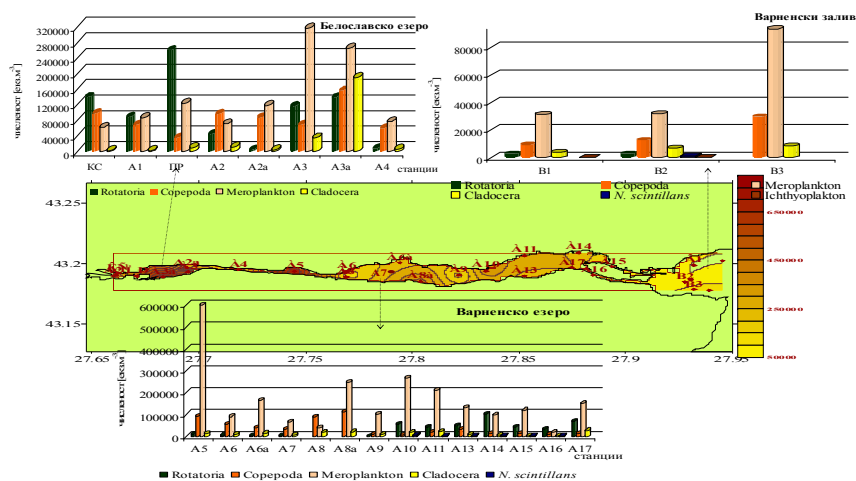
Фигура 8. Структура и разпределение на зоопланктона по численост [екз.м⁻³], юни 2001 г.

Запазва се тенденцията, екстремумите да се проявяват в Белославско езеро, предимно на южните брегове, където се формира значителен трофичен потенциал, както и във Варненско езеро до рибарското селище (ст. А8а) и на северните брегове (ст. А10, А11). Видовият състав е почти аналогичен за двете години, с тази разлика, че през 2001 г. за цялата изследвана акватория приоритетно присъстват представители на Rotifera (47 %), а през 2002 - Meroplankton (55 %).

През юни 2001 г. “цъфтежът” на ротаториите обхваща акваторията на двете езера със средни плътности 96 858 екз.м⁻³ ± 21 553 в Белославско езеро (55 %) и 46 877 екз.м⁻³ ± 26 969 във Варненско езеро (51 %), докато в залива

(5929 екз.м⁻³ ±7185) влиянието на тази група е ограничено, с изключение на ст. В6, изложена на въздействие на езерните води.

През пролетта на 2002 г. се регистрират разлики по отношение на процентната застъпеност на отделните групи. Числеността показва многократно нарастване в сравнение със същия период на 2001 г. и е от порядъка на 2 пъти за Rotifera, 6 пъти за Copepoda, 11 - Meroplankton и съответно 2.5 пъти за Cladocera. Градиента към намаляване значението на ротаториите от езерата към залива е силно изразен, както и доминирането на меропланктона в същата посока.



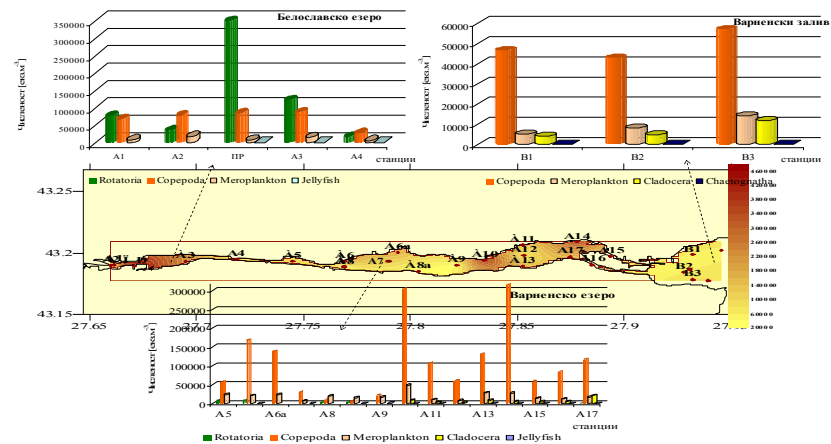
Фигура 9. Структура и разпределение на зоопланктона по численост [екз.м⁻³], май 2002 г.

През летния период (август 2001 г.) в езерната и заливната акватория се установяват максимални температурни стойности, движещи се в границите от 25.5°C до 30°C.

Количественото развитие на зоопланктона през лятото на 2001 г. показва покачване близо 2 пъти в сравнение с пролетта. Сукцесионният ход на сезонните изменения на зоопланктона следва класическата схема основно с развитието на стенотермни топлолюбиви видове от Cladocera (*Evdadne tergestina*, *Pseudevdadne spinifera*, *Penilia avirostris*), от Copepoda (*Acartia tonsa*, *Centropages ponticus*), Chaetognatha (*Parasagitta setosa*-juvenils), Stenophora (*Mnemiopsis leydyi*).

Средната численост на зоопланктона възлиза на 138 503 екз.м⁻³ ±113 938 с максимум 450 839 екз.м⁻³ на устието на р. Провадийска и минимум 24 016 екз.м⁻³ (ст. А8а) на южния бряг на Варненско езеро (фигура 10). В структурата на съобществото по численост, значимостта на ротаторния комплекс е

съизмерима с тази през пролетта, а нарастналата обща плътност се дължи основно за сметка на представителите на Copepoda, които увеличават 9 пъти плътността си.

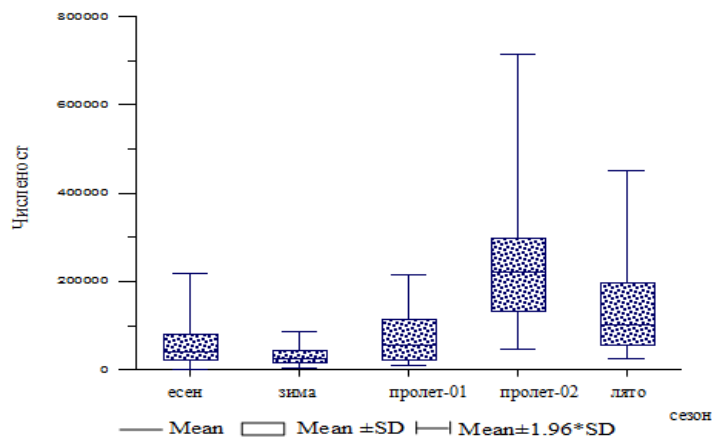


Фигура 10. Структура и разпределение на зоопланктона по численост [екз.м⁻³], август 2001 г.

Основен дял в структурата на зоопланктона във Варненско езеро и Варненски залив имат Copepoda с 81 % и 75 %. Cladocera и Meroplankton формират останалите 19 % и 25 % съответно. Rotifera запазват тенденцията на висок процент участие в Белославско езеро (60 %).

Дисперсията в биомасата е голяма, в границите от минималните 332.47 мг.м⁻³ до екстремалните 5082.62 мг.м⁻³. Биомасата е формирана почти изцяло от Copepoda – 70 %, докато другите основни групи Cladocera, Meroplankton и Rotifera проявяват еквивалентна застъпеност.

Анализът на данните от сезонните изследвания върху структурата и динамиката на зоопланктона свидетелства за значителни колебания на количествените параметри. Изменчивостта се дължи на петнистото разпределение по водни басейни, както и на сезонния характер на развитие на зоопланктона (фигура 11). Варибилността на средните стойности на зоопланктонната численост има голям размах през пролетта на 2002 г. и лятото на 2001 г. (фигура 11) и показват значителна хетерогенност на зоопланктона през тези сезони. През зимата установеният размах и отклонението от средните стойности е малък и предполага равностойна значимост на планктонната фауна в двете езера. През есента на 1999 г. и пролетта на 2001 г. се регистрират съизмерими стойности и развитие. Значителната хетерогенност през пролетта на 2002 г. вероятно се формира като резултат от масовото развитие на бентосния ларватон.



Фигура 11. Средна стойност, стандартно отклонение и доверителен интервал на числеността на зоопланктона [екз.м⁻³] по сезони в периода 1999-2002 г.

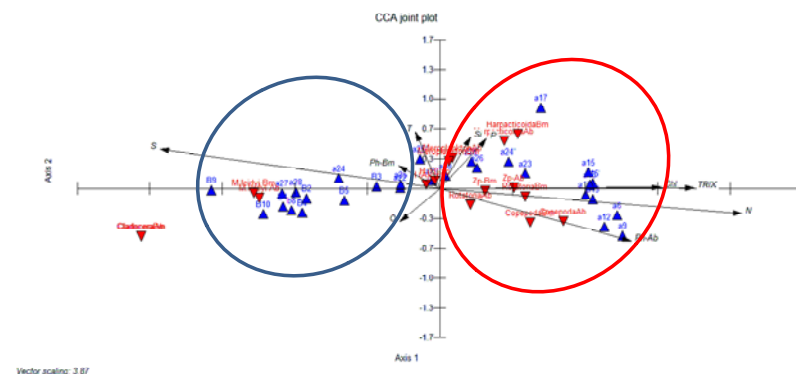
5.1.3 Особенности и разпределение на зоопланктона по градиент на антропогенен натиск.

В комплекса Белославско-Варненско езера-Варненски залив добре разграничените градиентите на средата включват соленост, еутрофикация (хлорофил а, биогенни елементи, кислородна наситеност на повърхностните води, трофичен индекс-TRIX), температура и плътност на водата. В резултат на речния вток от р. Провадийска в Белославско езеро към Варненско езеро, където влиянието на реката отслабва, се засилва водообменът с морето през прокопаните канали и солеността расте към залива. По отношение на трофността, градиентът е към намаляване в посока Варненски залив. Трофичният индекс се изменя от 8 в езерото до 5 в залива, съответстващ на хиперeutрофен към еутрофен статус. Неговите изменения корелират с тези на концентрациите на биогенни елементи (Дончева, 2009). С изпускането на топлите води във Варненско езеро от ТЕЦ –Варна се променя хидрологичния режим в западната част, чрез стратификацията на водите, което въздейства индиректно на циркулацията на водите през зимата, пролетта и есента.

Анализирани са данни от четири години лятото на 1998 г., пролетта на 2001г., декември 2004, май и август 2005. Приложен е корелационен анализ на съответствие (Canonical Correspondence Analysis-CCA) за редуциране и преобразуване броя на параметрите и разкриване на най-силните взаимовръзки

между тях, както и корелационен анализ за установяване на взаимозависимости между отделните абиотични и биотични параметри.

Представените данни са от 1998 г. В първите две оси променливите за средата обясняват 48,4 % от дисперсията на зоопланктонните данни (променливи) (фигура 12). Най – силният градиент е по ос 1, по-слабия по ос 2. Коефициентите на корелация между факторите на средата и екологичните променливи за двете оси са 0.93 и 0.98, което предполага силна зависимост между таксономичните/екологични групи и абиотата. Корелационните коефициенти между ординатните оси и физико-химичните метрики и екологични индекси показват, че по първата ос най-високата положителна корелация е с общия азот, хлорофил а и трофичния индекс (TRIX) и отрицателна корелация със солеността. По втората ос положителна зависимост е отчетена с общия фосфор, силиция, температурата и солеността. Първата ос може да бъде дефинирана като градиент на трофичността заради проявените връзки с азот и хлорофил.



Фигура 12. ССА ординатна диаграма със зоопланктонни таксони и групи, индекси и факторите на средата (вектори) (август 1998). Трансформация на данните - корен квадратен. Zp-Vm (биомаса на зоопланктона), Zp-Ab (численост на зоопланктона), Ph-Vm (биомаса на фитопланктона), Ph-Ab (численост на фитопланктона), N (TN) – общ азот, T-температура, S – соленост.

Проекцията на екологичните групи по ординатните оси демонстрира силна корелация на копеподния и ротаторния комплекс с общия азот и биомасата на фитопланктона. Същите зоопланктонни асоциации доминират в станциите, разположени в Белославско езеро, където са най-високите концентрации на азотните съединения и фитопланктонна биомаса. Видовете от

Rotifera корелират негативно със солеността и в проекция са разположени противоположно на градиента му (намаляват в посока залив). Представителите на ротифера са характерни за бракични водоеми (Attayde, Bozelli, 1998) и доминират в езерните станции. Всички заливни станции са ориентирани по солевия градиент (по-висока соленост), характеризират се със застъпеност на желеобразния компонент (*Mnemiopsis leidyi* и ефирни ларвни форми на *Aurelia aurita*) и Cladocera (*Penilia avirostris*). Освен това те се намират в отрицателна зависимост с хлорофил а, TRIX и биогенните елементи т.е биомасата им намалява обратна на трофичния градиент. Проекцията на променливите по втората ос показва, че меропланктонът се асоциира с по-висока температура и соленост (със среден дял 17% участие във Варненско езеро и 20% във Варненски залив срещу 9% в Белославско).

Така в ССА диаграмата се идентифицират две зоопланктонни съобщества, съответстващи на а) силно еутрофните (червен елипсоид) и б) еутрофните (синя зона) условия на средата - фигура 12.

От получените резултати може да се обобщи, че трофичният фактор, изразен чрез биогенните елементи, TRIX, хлорофил а, е основен, оказващ влияние на плътността и разпределението на зоопланктона, докато разпределението на видовете е под въздействие на физикохимичните параметри - соленост и температура.

От приложения метод на каноничния анализ на съответствие (ССА) се дискриминират ясно градиентите по соленост и трофичност, докато температурата се свързва предимно със сукцесионната промяната на видовете в сезонен аспект. Значението на ротиферния комплекс като индикатор на трофичния статус се потвърждава от увеличаването на съотношението микрофаги/хищници в посока на намаляване на трофичността от запад на изток. Въпреки, че ротифера корелират обратно със солеността, присъствието на тези видове в залива и преобладаването на ротифери-хищници е в подкрепа на тезата за разпределението им по трофичния градиент.

5.1.4 Вертикално разпределение на зоопланктона във Варненски залив

В тази подглава е представена структурата на вертикално разпределение на зоопланктона от проведено изследване през пролетта на 2001 м. май. Наблюдаваната денонощна динамика на станцията във Варненския залив не съвпада напълно с вертикалното разпределение на зоопланктона в открито море (Консулов, 1990). Причината за това вероятно е неголямата дълбочина при станцията (20 м) и малката величина на температурния градиент. *N. scintillans* се характеризира с концентриране в повърхностния воден пласт и намаляване в дълбочина. Докато почти равномерно разпределение в двата слоя показват видовете от подклас Copepoda, *P. polyphemoides* и бентосния ларватон.

5.2 Размерна структура на зоопланктона във Варненско езеро и Варненски залив

Размерът на тялото на зоопланктонните организми е съществен показател, който корелира с многожество физиологични и екологични процеси. От екологична гледна точка, той играе важна роля при определяне на структурата на съобществото, трофичните взаимодействия и метаболитните процеси (Elton, 1927; Huxley, 1932; Odum, 1956; Hutchinson and MacArthur, 1959).

За оценка на екологичното състояние, за първи път, за зоопланктона е приложено размерно разпределение. Методът се базира на екологичната зависимост, че при ненарушени условия се наблюдава по-равномерно разпределение на индивидите в малките и големите класове, докато при нарушени условия е характерно неравномерно разпределение на индивидите в размерните класове с доминиране на малоразмерните (Reizopoulou, Nicolaidou, 2007).

За целите на размерния анализ се преобразува дължината по определени формули (Korshenko, Alexandrov, 2012) в тегло представено във въглеродни единици - $\mu\text{g C}$.

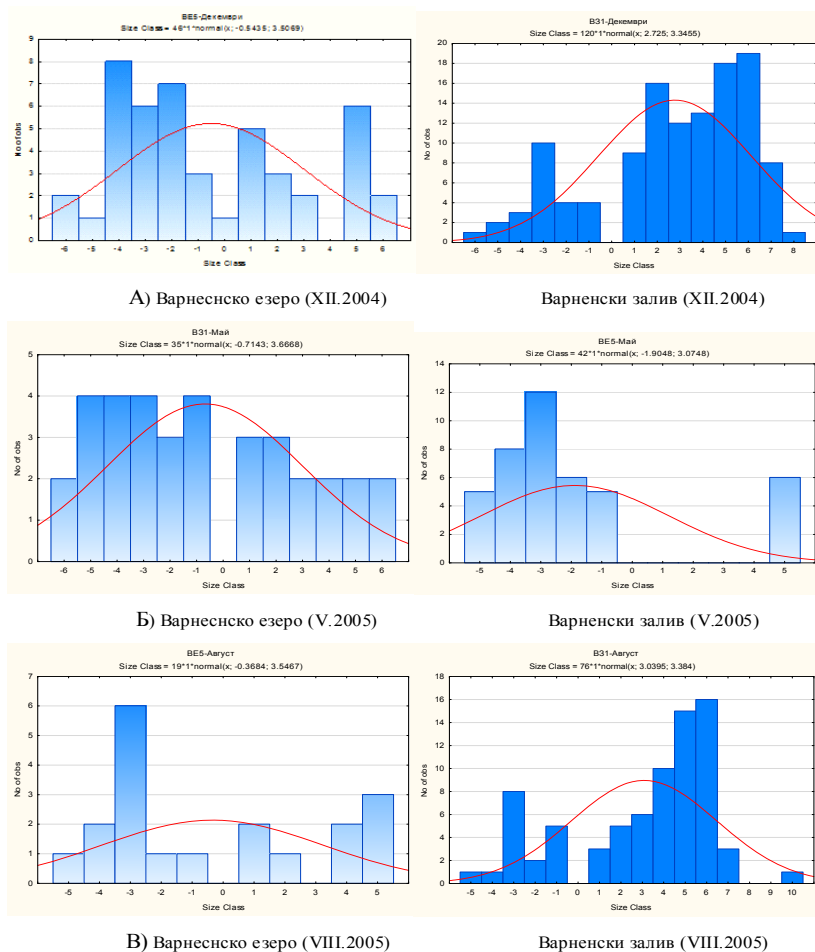
Размерните спектри основани на биомаса или численост се изчисляват като линеен модел от типа $y=a+bx$, отразяващ зависимости между размер и биомаса. Където а и b са коефициенти ефективно използвани за измерване и анализ на размерната структура (Jennings et al. 2001).

Размерът е представен (ос X) като размерни класове, определени от теглото на отделните индивиди, изразени като въглеродни единици - $\mu\text{g C}$, логаритмувани при основа 2. По ос Y са нормализираните логаритмувани биомаси. Размерната структура при формиране на биомасата е анализирана като нормализираните данни за биомасата се сумират за всеки отделен размерен клас.

Размерното разпределение се илюстрира чрез хистограми на класовете изразени като $\mu\text{g C}$. Теглата варират от 0,015 до 560 $\mu\text{g C}$, съответстващи на размерни класове логаритмувани при основа 2 от -7 до 9 в залива и от -7 до 5 - в езерото и обхващат микро- и мезоопланктонни организми с дължина от 0.12 мм до 10 мм тотална дължина.

Размахът на теглата в класовете в езерото съответно е от 4 до 32 $\mu\text{g C}$, а в залива от 32 до 560 $\mu\text{g C}$. В езерото като цяло разпределението е положително, с дясна асиметрия, като за декември тя е слаба, почти симетрична, а за май е умерена (фигура 13). Преобладаващите честоти са вляво (по-малките размерни класове) и само няколко (екстремални) стойности в дясната част на хистограмата. Големоразмерните класове са представени от видове като *A. clausi* за декември, *A. clausi* и *Pseudocalanus elongatus* - май, и *Acartia tonsa* през август. В залива (с изключение на май месец) разпределението е ляво асиметрично (фигура 13). По-голямата част от разсейването е към високите стойности.

Височината на върха на нормалното разпределение се описва с показателя ексцес (kurtosis). Ексцесът е мярка за върхната източеност (изтеглениост) на разпределението (Гатев, 1986, Калинов, 2003, Цветков, 2013). В зависимост от натрупването на случаите в реда ексцесът бива: нормален, положителен и отрицателен.



Фигура 13. Хистограми на разпределение на размерните класове (log₂ µg C), асиметрия и ексцес А) ст. Варненско езеро-декември ст. Варненски залив-декември; Б) ст. Варненско езеро-май; ст. Варненски залив-май; В) ст. Варненско езеро-август; ст. Варненски залив-август.

Всички разпределения на размерните класове в езерото и залива през 2004-2005 са с отрицателен ексцес това означава, че върхът на изследваното разпределение се намира под върха на еталона на нормалната крива. Отношението на ексцеса към стандартната му грешка, отклоненията от нормалната крива в езерото и залива не са високи и разпределението може да се опише като с умерен ексцес.

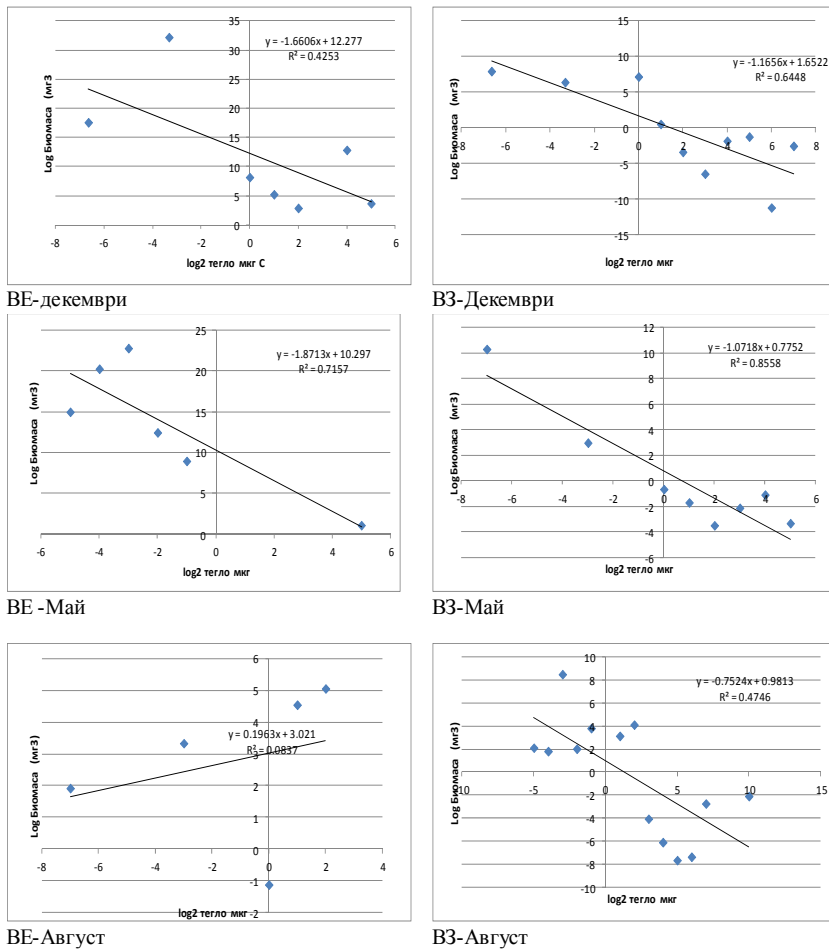
Изградени са регресионни модели между логаритъма на нормализираната биомаса и теглата (таблица 1, фигура 14). Изчислени са основните статистически характеристики на размерните класове, логаритмувани при основа 2 (таблица 1).

Таблица 1 Ъглов коефициент, свободен член и коефициент на детерминация на регресионните модели между биомаса и тегло (µg C)

Станция	Ъглов коефициент (b)	Свободен член (a)	R ² -коефициент на детерминация
BE5-XII	-1.6606	12.277	0.4253
BE5-V	-1.5527	6.9108	0.7157
BE5-VIII	0.1963	3.021	0.0837
B3-XII	-1.1656	1.6522	0.6448
B3-V	-1.0718	0.7752	0.8558
B3-VIII	-0.7524	0.9813	0.4746

Биомасата на организмите, представена в логаритмична скала, би трябвало да намалява линейно с увеличението на индивидуалните тегла (Rodriguez, Mullin, 1986). Ъгловият коефициент (коефициент на наклона – „b”) може да се използва, за да се оцени разпределението по размерните характеристики. За пелагичните съобщества в стабилно състояние (steady state) наклонът в регресионното уравнение е около -1 (Kerr 1974; Sheldon et al. 1977; Platt and Denman 1978). Колкото по-стръмен е наклонът, преобладават малкоразмерните класове, а при по-полегатите зависимости доминират видове с по-големи размери (Cottingham K. L. 1999).

Нормализираните биомаси, намаляват с увеличаване на теглата, като ъгловите коефициенти (коефициент на наклона) “b” в езерото са по-високи (около -1.6) в сравнение със залива, където той е около -1. По-стръмния наклон в езерото е индикатор, че преобладават по-малоразмерни организми, докато по-полегатия в залива (Фигура 52) – за нарастване на биомасата чрез доминиране на по-високоразмерни тегловни класове. Положителният наклон в езерото през август най-вероятно отразява силната вариабилност на съобществото и влиянието на факторите на средата. Спектърът на наклоните в еутрофна среда варира силно, докато в олиготрофна е по-стабилен (Rodriguez & Mullin 1986; Quinones et al. 2003). По-полегатите регресионни линии се характеризират с по-висока изравненост и видово разнообразие по биомаса, отколкото по-стръмните линии (Ruiz 1994)



Фигура 14. Линейни зависимости между логаритмувани нормализирани биомаси и тегло ($\mu\text{g C}$) във Варненско езеро и Варненски залив през 2004-2005.

Свободният член на уравнението (таблица 1, фигура 14) в езерото е по-висок от залива. Rasmussen (1993) установява, че свободният член на регресионния анализ нараства, а коефициента на наклона намалява с нарастване на трофичния потенциал.

Коефициентите на детерминация (R^2) са по-ниски в езерата (изкл. месец май), докато в залива са по-високи (таблица 1). Те отразяват стабилността на съобществото, стойност близо до 1 е показател за съобщество, близо до равновесно състояние, докато ниските стойности са индикатор за съобщество под стрес под въздействие на външни натиски. (Rodríguez and Mullin, 1986; Sourisseau and Carlotti, 2006).

В заключение, размерно-ориентираните методи са таксономично независим подход за оценка на екологичното състояние, трофичната обезпеченост на средата и за изясняване структурата и функционирането на зоопланктонните съобщества (Rasmussen 1993).

5.3 Съвременни тенденции в характеристиките на зоопланктонното съобщество.

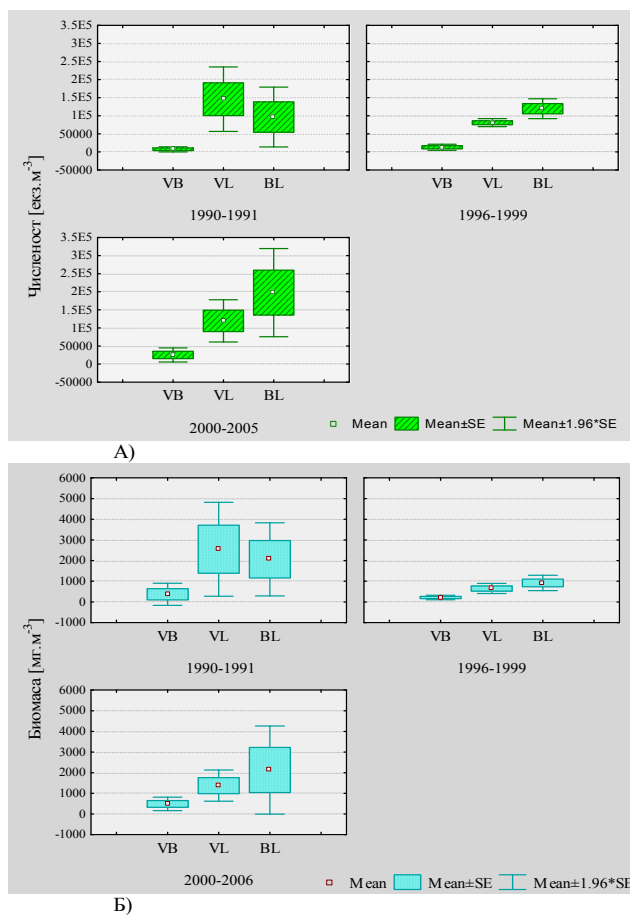
В контекста на ретроспективния анализ на микро-(локални) и мезо-(регионални) мащабните процеси и изменения във времето е важно да се отделят основните тенденции в развитието на зоопланктонното съобщество.

Във Варненски залив общата численост за периода 1980-1990 (период на интензивна еутрофикация) варира от 1083 екз.м⁻³ до 52 978 екз.м⁻³ (Stefanova et al., 2008). Първоначално екосистемата отговаря положително на обогатяването с биогени, еутрофикацията и повишената първична продукция, което води до увеличаване на мезозоопланктонната плътност (Oguz, 2005a, Stefanova et al., 2008). След средата на 1980-те е регистрирана около 5 пъти по-ниска численост на мезозоопланктона в резултат на силната грейзинг преса от страна на опортюнистичните видове зоопланктон *N. scintillans*, *A. aurita* и *M. leidy* (Shiganova et al., 2008). Периодът след 1990 се определя все още за критичен независимо от затихването на дейността на значителна част от индустриалните предприятия, когато промените в екосистемата продължават (Стефанова и кол. 2005, Траянова 2009, Stefanova et al., 2010).

Широките обхвати на изменение свидетелстват за изключително неравномерно пространствено и времево разпределение по численост и биомаса (фигура 15 А, Б). Като цяло по-ниските количествени променливи във Варненски залив в сравнение с езерата демонстрират и много по-слабо изразена хетерогенност. Като тенденция се наблюдава повишаване на числеността и биомасата на зоопланктона приблизително 3 пъти във Варненски залив от 1990-1991 до 2005. Обратна зависимост се установява за Варненско езеро, където числеността и биомасата намаляват от 2 до 4 пъти (1990-1991 - 2551.58 мг.м⁻³ ± 1159.02 SE; 2000-2005 - 1372.9 мг.м⁻³ ± 384.90 SE). Докато в Белославско езеро се запазват почти съизмерими стойностите (2065.07 мг.м⁻³ ± 902.79 SE за 90-91г и 2129.18 мг.м⁻³ ± 1089.12 SE) с лек спад в края на 90-те г. (фигура 15 А, Б). Установяват се добре изразени градиенти и повишаване на зоопланктонната биомаса и численост в посока залив-езера.

Увеличаването на количествените показатели във Варненски залив от 1990-1991 г. до 2005 г. става за сметка основно на ларвите на бентосните

организми и в по-малка степен на кладоцерите и копеподите. Биомасата на Rotifera намалява 12 пъти във Варненско езеро ($711.05 \pm 799.5 \text{ мг.м}^{-3}$ – 1990-1991, $58.35 \pm 59.85 \text{ мг.м}^{-3}$ за 2000-2005) и 3 пъти в Белославско ($874.48 \pm 1072 \text{ мг.м}^{-3}$ – 1990-1991 и $265.16 \pm 129.59 \text{ мг.м}^{-3}$ - 2000-2005 г.). Намалената антропогенна преса рефлектира върху развитието на ротиферния комплекс, особено добре изразено в екологичния потенциал на Варненско езеро и в по-малка степен в Белославско езеро, където значението на Rotifera продължава да се поддържа в последните години.



Фигура 57. Динамика на зоопланктона в системата Белославско езеро – Варненско езеро-Варненски залив за периода 1990-2005 г. по а) численост и б) биомаса.

Обобщавайки, оценени са основните периоди в еволюцията на зоопланктона в крайбрежната акватория на Варненски залив и езерата като е установена реорганизация в основните таксономични/екологични групи на зоопланктона. Увеличаването на биомасите в залива и намаляването във Варненско езеро са индикатор за подобро екологично състояние/потенциал, докато в Белославско не е регистрирана съществена промяна. Запазен е градиентът на изменение от езера към залив, както и еутрофния статус в езерата.

5.4 Класификационна система за диагностика на екологичното състояние на морската среда (според РДВ) и оценка на състоянието/потенциала на средата по БЕК – зоопланктон.

Потенциалните зоопланктонни индикатори тествани за категоризиране на крайбрежните водни тела (Варненски залив), приложени в настоящата разработка са:

- Биомаса на мезозоопланктона,
- Индексът на разнообразие по Шенон-Уивър,
- Биомаса на *N. scintillans*,
- Биомаса на инвазивния вид *M. leidy*.

Индикаторите за категоризиране на езерната екосистема са:

- Индексът на разнообразие по Шенон-Уивър
- Ротиферен трофичен индекс (rotifer trophic state index - TSI_{ROT}) (Ejsmont-Karabin, 2012).

Подходът за избор на базисно състояние при определяне на прагови стойности за предложените индикатори приложен от нас е неповлияно състояние/пренебрежимо въздействие: състояние, при което натискът и въздействието се считат за много малки. В РДВ се обозначава като референтно състояние и се определя на база минали и настоящи изследвания т.е наличие на дълъг ред от данни. Следователно, методът за класификация на състоянието на крайбрежните водни системи е отношението към референтните условия, въз основа на които да се оценяват въздействията на човешки дейности и да се използват за класификация на екологичния статус на водите.

За определянето на обхвата и фоновите стойности е приложен перцентилният подход и е взета под внимание експертна оценка. А именно, за установяването на референтните условия е приложен перцентилен подход, при който 90% и съответно 10% перцентил от извадката се предлага като горна или долна граница на референтните стойности, приемайки, че 90% от най-високите данни за зоопланктонна биомаса от референтния период съответстват на най-добро състояние и обратно 10% от най-ниските стойности от съвременния период съответстват на най-лошо (Heiskanen et al. 2005, Revilia et al. 2009). При *N. scintillans* 5-ти перцентил от референтния период е избран като

представителен за най-високо качество и 95-ти% от периода на еутрофикация като съответстващ на най-лошо (Heiskanen et al. 2005, експертна оценка). EQR–те са изчислени като равномерни интервали между крайните стойности.

При оформянето на крайната оценка за дадена станция на база сезонните изследвания и различните метрики се прилага методът прилаган в РДВ „one out all out” т.е приема се по-ниското ниво в оценката.

Граничните стойности (таблица 2) в биомасата на мезозoopланктона са определени на база исторически данни от 1966-1973 г. за “високото качество” и от 1980-1990 г. за “ниското качество”, когато са условията на интензивна еутрофикация в черноморската екосистема (Prodanov et al 2001, Moncheva et al, 2001, Oguz et al., 2004). За *N. scintillans* горната граница на високите стойности се основава на данните от същия еутрофикационен период през 80-те. При определянето на стойностите за добро качество на водите при наличие на *M. leidy* е приложена, установената критична биомаса от 4 гр.м⁻³, под която числеността на мезозoopланктона не се повлиява (Vinogradov et al. 2005).

Таблица 2. Метрики със съответните скали на граничните стойности според предложени биологичен елемент за качество (БЕК) – зоопланктон

Метрики/дименсии	Скала	Референции
1. Биомаса на мезозoopланктона [мг.м ⁻³]		(Korshenko, Alexandrov, 2012)
- пролет	<10 (>400) - 400	
- лято	<30 (>900) – (500-900)	
- есен	<10 (>350) – (350-500)	
2. Индекс за видово разнообразие [bit.ind ⁻¹]		(Korshenko, Alexandrov, 2012)
Shannon-Wiener	<1 - >4	
3. Биомаса на <i>N.scintillans</i> [мг.м ⁻³]		(Korshenko, Alexandrov, 2012)
- пролет	<50 - >2500	
4. Биомаса на <i>M.leidy</i> [г.м ⁻³]		(Vinogradov et al. 2005)
- лято	< 1 - > 50	

Резултатите от приложените индекси, определят екологичното състояние във Варненски залив в периода 1999-2002 г. в границите между добро и умерено. Единствено станциите, които са основно под въздействие на езерните води и течения са в много лошо състояние. Отсъствието на цъфтежни концентрации на *N. scintillans* за периода на изследване 1999-2002 г. също характеризира средата в добро състояние. Според индекса на видово разнообразие пролетния и летния сезон се открояват с умерено състояние поради преобладаване на отделни видове в съобществото и неравномерното им участие в структурата му. Крайната оценка формирана на база зоопланктонните индикаторни категории е представена в таблица 3 и е формирана на принципа на по-ниското качество.

Силномодифицираните водни тела са водни тела, подложени на значително изменение на физическите характеристики, вследствие на

човешката дейност, например от типа на Белославско и Варненско езеро (ПУРБ, 2009). За оценка на средата при тях не може да бъде приложен подхода на информация за налични референтни условия. Качеството на средата се характеризира чрез определянето на екологичния потенциал в езерата, а това е потенциалът за възстановяване на добрия екологичен статус на значително модифицирани естествени водни тела (Приложение V, РДВ). Категориите екологичен потенциал са 4: добър (зелен цвят), среден (жълт цвят), нисък (оранжев цвят) и лош (червен).

Таблица 3. Окончателна оценка на екологичното състояние на заливната екосистема по станции според приложените зоопланктонни индикаторни категории за периода 1999-2002 г.

Година	Сезон	Станция	Мезозoopланктон [мг.м ⁻³]	Статус	<i>N.scintillans</i> [мг.м ⁻³]	Статус	<i>M.leidy</i> [г.м ⁻³]	Статус	H'	Статус	Екологично състояние
1999	есен	1	172.01		10.68		0.11		2.73		
		2	148.29		0		0.16		2.30		
		3	236.76		9.66		0.00		2.74		
		4	946.97		75.03		0.00		2.81		
		5	346.07		23.58		<0.1		2.84		
		6	327.37		38.88		<0.1		2.59		
		7	667.24		72.24		<0.1		2.34		
		9	339.35		36.54		0.00		2.93		
		10	346.74		93.3		<0.1		2.93		
		11	311.35		64.32		0.42		2.51		
		2001	пролет	B1	70.56		73.72		<0.1		2.79
B2	319.75				61.30		<0.1		3.07		
B4	225.82				43.82		0.00		2.45		
B5	302.89				0		<0.1		2.66		
B6	709.77				0		0.00		2.39		
B7	289.45				66.22		0.00		2.48		
B10	390.28				0		0.00		2.46		
1	285.42				221.735		0.00		2.09		
2	125.13				43.267		<0.1		2.37		
3	355.29				252.735		<0.1		2.38		
4	361.58				315.28		0.00		2.02		
5	221.64				184.87		<0.1		2.50		
6	114.97				41.86		0.00		2.22		
7	288.15				136.71		0.00		2.60		
8	98.13				80.395		0.00		2.12		
9	130.39				94.971		<0.1		2.18		
10	149.98				135.343		<0.1		1.86		
2001	лято	B1	748.61		0		0.00		1.92		
		B2	935.44		0		0.56		2.09		
		B3	1386.81		0		0.00		1.94		
2002	пролет	B1	664.12		0		0.00		2.52		
		B2	897.85		87.57		0.00		2.85		
		B3	1610.09		0		0.00		2.34		

В тази част от глава 5.4 на дисертацията е направен опит да бъде оценен екологичния потенциал на двете езера в периода 1999-2002 според предложените индикатори - индекс за биоразнообразие (Shannon Weaver) и модифициран интегриран индекс за трофност на средата (TSI_{ROT}) на основа: i) численост на ротиферите, ii) биомаса на ротиферите, iii) отношение на биомаса към численост на ротиферите, iv) процент на микрофагите към общата численост на ротифера. Крайната оценка се формира чрез осредняване на всички ротиферни индекси в един т.нар. трофичен ротиферен индекс (TSI_{ROT}) (Ejsmont-Karabin, 2012).

Според TSI_{ROT} , екологичната оценка на двете езера е предимно в границите на нисък потенциал, с малки изключения на станциите в близост до канала езеро-залив, класифицирани със среден екологичен потенциал. Ротиферния трофичен индекс също така определя средата във Варненско езеро като еутрофна ($TSI_{ROT}=55-65$), а в Белославско между еутрофна и хипереутрофна, в 27% от случаите $TSI_{ROT}>65$. Както беше отбелязано в раздел размерен състав според получените резултати Варненско езеро се характеризира като еутрофно. Същото се отнася и за Белославско езеро, но тук в много по-голяма степен се оформят зони, които могат да бъдат класифицирани като хипереутрофни т.е лош потенциал - ст. Варна-запад, р. Провадийска, ст. АЗ.

Категоризирането на крайбрежната и езерни акватории според зоопланктонните дескриптори е 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 изглажда различията на отделните индекси..

VI. ОБОБЩЕНИ РЕЗУЛТАТИ И ИЗВОДИ.

Проведените изследвания върху съвременното състояние на зоопланктона в комплекса Белославско езеро-Варненско езеро-Варненски залив позволяват да бъдат формулирани следните обобщени резултати и изводи:

1. В периода 1999-2005, са установени общо 43 таксона зоопланктон, от които 29 вида (Myzozoa -1, Nematelminthes -9, Cnidaria - 2, Stenophora – 2, Arthropoda – 13, Chaetognatha – 1, Chordata – 1) и 14 надвидови таксона (представителите на систематичните групи клас Infusoria, клас Scyphozoa, клас Hydrozoa, сем. Cysterozoa, разред Harpacticoida). Определените зоопланктонни компоненти бентосен ларватон и ихтиопланктон, които се отнасят към тип Annelida – 1, Nematelminthes – 1, Mollusca - 2, Arthropoda – 8, Chordata – 1 и имат съществено значение в изграждането на езерната и заливна планктонна фауна.

2. Видовото разнообразие (S, H') се увеличава в посока запад–изток. Анализът на сезонната изменчивост в структурата на зоопланктона показва преобладаване на пластични евритермни видове (*Acartia clausi*, *Paracalanus*

parvus, *Metacyclops minutus*, *Brachionus sp.*, *Synchaeta vorax*, *Pleopis polyphemoides*, *Aurelia aurita*, ларви на Cirripedia, Polychaeta, Lamellibranchia), застъпени целогодишно в езерната и заливна екосистема. Типичните стенотермни видове характерни за определен сезон - *P. elongatus*, *C. euxinus-copepodit*, *O. similis* – през зимата, *Calanipeda aquae dulcis* и Decapoda larvae – през пролетта, *Acartia tonsa*, *Centropages ponticus*, *Penilia avirostris*, *Pseudevadne tergestina*, *Evadne spinifera*, *Decapoda zoea*, *Mnemiopsis leidyi*, *Beroe ovata* – през лятото и *Parasagitta setosa* – през есента, имат комплементарна роля в структурата на зоопланктона.

3. Структурата на зоопланктона по численост се характеризира, независимо от сезонните флукутации, с доминиране на Rotifera (средна численост $80\ 704 \pm 59\ 361$ екз.м-3 SD) в Белославско езеро (70%), намаляване плътността на Copepoda (БЕ - $46\ 602 \pm 26\ 453$ екз.м-3, ВЕ- $36\ 982 \pm 30\ 638$ екз.м-3 и ВЗ- $18\ 865 \pm 5\ 476$ екз.м-3 SD) от запад на изток, константно високи числености на бентосния ларватон във Варненско езеро ($40\ 026 \pm 38\ 052$ екз.м-3 SD). Зоопланктонната численост и биомаса в езерата е по-висока от 2 до 5 пъти в сравнение с Варненски залив. Факторите, поддържащи тази тенденция са затвореният тип и по-слаб воден обмен на езерата със залива, слабо развитата хищна компонента - желеобразен зоопланктон и *P. setosa*.

4. На база таксономично сходство (присъствие/отсъствие) на видовете в структурата на зоопланктонното съобщество са разграничени условно две зони: езерна - включваща Белославското и Варненско езера и заливна – представена от Варненския залив. Зоопланктонният комплекс във Варненско езеро характеризира акваторията като преходна между Белославско езеро и Варненски залив, за което свидетелства ограничения брой дискриминиращи видове и таксони.

5. Количественото пространственото разпределение на планктонната фауна през 1999-2002 г. се дължи както на сезонните различия, така и в голяма степен на пространствения модел на еутрофност. Максимални плътности (ст. АЗ - БЕ, А10-ВЕ, А11-ВЕ) съответстват на зони с висок трофичен потенциал..

6. Факторите на околната среда, които корелират в най-висока степен със структурата на планктонната фауна и определят състава и разпределението на зоопланктона са соленост, температура, трофичен потенциал. Трофността, представена чрез биогенните елементи, TRIX и хлорофил а е основен фактор, определящ количественото разпределение на зоопланктона, докато физикохимичните градиенти соленост и температура корелират предимно с видовото разнообразие на зоопланктона.

7. Денонощната динамика във Варненски залив не съвпада напълно с модел на вертикално разпределение на зоопланктона в открито море. Вероятната причината за това е неголямата дълбочина приблизително 20 м, отсъствие на изразена стратификация, респективно еднородността във факторите на средата (биогени, кислородно съдържание, соленост). Видът *N. scintillans* доминира в повърхностния воден слой и намалява в дълбочина,

докато за видовете от подклас Copepoda и *P. polyphemoides* е характерно равномерно вертикално разпределение.

8. Коефициентите на размерната структура (асиметрия на разпределението на размерните класове и наклон на линейната регресия) като показатели за степента на трофност показват противоположни значения в езерото и залива: положителна асиметрия (доминиране на дребно-размерни класове) и наклон, съответстващи на еутрофна среда в езерото и отрицателна асиметрия и наклон съответстващи на мезо- до еутрофна среда в залива.

9. Съгласно приложените индикаторни категории - биомаса на мезозoopланктона, биомаса на *N. scintillans*, индекс на видово разнообразие Shannon-Weaver, биомаса на *M. leidy* и разработената класификационна система, е установено, че екологичното състояние на Варненски залив (крайбрежна морска среда) варира между категориите “добро” и “умерено”, като по-ниското ниво в качеството на средата се дължи на стойностите на индексите на изравненост, видово разнообразие и биомаса на мезозoopланктона. Същевременно, в критично състояние (“много лошо”) е акваторията на Варненския залив под непосредственото въздействие на езерните води.

10. Към Белославско и Варненско езера, като категория “силномодифицирано водно тяло” за оценка на средата не може да бъде приложен референтния подход за категоризиране. Направената оценка е по отношение на индекса за биоразнообразие (Шенон-Уивър) и индекс за трофност на средата (TSI_{ROT}), който е базиран на ротиферния комплекс и неговите количествени метрики. Екологичният потенциал на двете езера е в границите “нисък-лош”, с изключения на станциите в близост до канала езеро-залив, където потенциалът на средата е “среден”

11. Многогодишните изменения на количествените параметри и индекси на зоопланктона свидетелстват за: i) нарастване на числеността и биомасата във Варненски залив по отношение на всички ключови групи Copepoda, Cladocera, Meroplankton, ii) намаляване количествените параметри във Варненско езеро; iii) увеличаване в Белославско езеро за сметка на Copepoda, Meroplankton и Cladocera; iv) драстичен спад на ротифера във Варненско езеро и в много по-малка степен в Белославско. В заключение може да се обобщи, че зоопланктонът проявява симптоми на екологично възстановяване през съвременния период предимно във Варненски залив и в много по-малка степен във Варненско и Белославско езеро.

VII. ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Приложен е за първи път за зоопланктонното съобщество метод на статистическите дескриптори на размерното разпределение и е направена връзка с трофичния потенциал и градиента на средата.

2. Разработена е пет степенна класификационна система (индикаторни видове, количествени метрики и индекси за видово разнообразие) за оценка на състоянието на крайбрежни морски води.

3. Приложен е за първи път адаптиран трофичен индекс според ротиферния комплекс за оценка на модифицираните водни тела – Белославско и Варненско езеро.

4. Направена е оценка на екологичното състояние на средата на база индикаторни зоопланктонни категории в крайбрежните морски и езерни води.

5. Доказана е ролята на степента на еутрофност на средата като контролиращ фактор за формиране състава, структурата и разпределението на зоопланктонното съобщество.

Научни публикации по темата на дисертационния труд:

1. Stoyanova A., **Stefanova K.**, 2001. Dynamics in phytoplankton - zooplankton relationship under conditions of increased eutrophication”, Comptes rendue de l'Academie Bulgare, т. 54, №7, 79-82 pp

2. **Стефанова К.**, 2001. Анализ на състоянието на зоопланктона във Варненско езеро”, Океанология - Варна, т.3, 155-162.

3. **Стефанова К.**, В. Дончева, 2003. Състояние на зоопланктона във Варненско и Белославско езеро. Известия на Съюза на учените – Варна, Серия “Медицина и екология” 2'2000;1'2001, 50-55.

4. **Stefanova K.**, L. Kamburska, A. Gubanova, D. Altukhov, 2008. State and Trends of Zooplankton Community in the Coastal Black Sea Ecosystems of Varna and Sevastopol Bays. In: 1st Biannual Scientific Conference “Black Sea Ecosystem 2005 and Beyond”, 8-10 May 2006, Istanbul, Turkey , 743-761, (CD copy).