

РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ И РАЗМЕРНА СТРУКТУРА НА ЗООПЛАНКТОННОТО СЪОБЩЕСТВО В КОМПЛЕКСА ВАРНЕНСКО ЕЗЕРО-ВАРНЕНСКИ ЗАЛИВ

Кремена Стефанова, Валентина Дончева

DISTRIBUTION AND SIZE STRUCTURE OF ZOOPLANKTON COMMUNITY IN THE COMPLEX VARNA LAKE – VARNA BAY

Kremena Stefanova, Valentina Doncheva

Abstract: *Body size of zooplankton organisms is an important indicator that correlates with numerous physiological and ecological processes. Ecologically, it has been considered to play an important role in determining community structure, trophic interactions and metabolic rate. To present the size structure of zooplankton in Varna Lake and the Varna Bay, regression models between the logarithm of the normalized biomass and weights expressed in carbon units - $\mu\text{g C}$ were built. Data derived from the project CADSES - TWReference Net (in December 2004, May and August 2005). The stations were selected according to the eutrophication gradient (from Varna Lake toward the Varna Bay). The paper analyzed the size classes at both endpoints (Varna Lake - BE5 and Varna Bay – B1) to better differentiation of the results. The biomass size spectrum has also been used to assess the ecological state of pelagic ecosystems. This approach is based on the environmental dependency that in unstressed ecosystems biomass was evenly distributed while in stressed ecosystems - smallest organisms prevailed. Size distribution is illustrated by the histograms. Weights range from 0,015 to 560 $\mu\text{g C}$, corresponding to the size classes logarithms to the base 2 -7 to 9 in the bay and from -7 to 5 in the lake and covering micro organisms and mesozooplankton a length of 0.12 mm to 10 mm total length body. The extent of weight classes respectively in the lake is 4 to 32 g C, and in the Gulf from 32 to 560 mcg C. In the lake the skewness was positive, with the right asymmetry, for December it is weak, almost symmetrical and in May was moderate. The predominant frequencies are left (smaller size classes) and only a few (extreme) values on the right side of the histogram. Large classes are represented by species such as *Acartia clausi* - December, *A. clausi* and *Pseudocalanus elongatus* - May and *Acartia tonsa* in August. In the Gulf (except May) the distribution is asymmetrical as the larger values dominate. Size- oriented methods are independent taxonomic approach for assessing the ecological and trophic status, and to clarify the structure and functioning of zooplankton communities.*

Key words: *sea biology, zooplankton, size spectrum, eutrophic gradient, Varna Lake, Varna Bay*

Въведение

Размерът на тялото на зоопланктонните организми е съществен показател, който корелира с множество 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, Rodríguez, 1994, Huxley, 1932, Odum, 1956, Hutchinson and MacArthur, 1959). Промените в размерната структурата може да повлияят на функционирането на екосистемите чрез промяна във взаимодействието жертва-хищник и впоследствие да се отразят на цикъла на въглерода при преноса на енергия и материя в екосистемата (Karl et al., 2001). С оглед на тези характеристики, размерната структура се счита за показател за промените в организацията и функционирането на съобществото и потока на енергия (Sprules and Munawar, 1986, Zhou, 2006, Stemann and Boss, 2012).

Оценката на състоянието на средата на база размерна структура е алтернативна и чувствителна методика за описание на пелагичните и бентосните съобщества. 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, 2006).

Материал и методи

Пробонабирането, с цел прилагане на статистическите дескриптори на размерно разпределение е осъществено по проект CADSES TW Reference NET в периода 2004-2005 г. (декември 2004, май и август 2005) по мрежа от станции предствена на Фигура 1. Пробонабирането за зоопланктон се осъществява със затваряща се зоопланктонна мрежа тип Джеди с апертура 150 мкм и диаметър на челния отвор 36 см.

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 – $\mu\text{g C}$. В разработката са анализирани размерните класове на двете най-крайни точки (Варненско езеро – BE5 и Варненски залив - B1) с цел по-добро диференциране на резултатите по градиента на еутрофност. 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, 2014). За целите на размерния анализ преобразуването от дължина към тегло във въглеродни единици - $\mu\text{g C}$ се извършва като първо са изчислени индивидуалните тегла на съответните видове, за да се установят биомасите на зоопланктона като влажно тегло - WW [мг], които съответно се трансформират в сухо DW [мг] ($DW=0.2*WW$) тегло и впоследствие преминават във въглеродни единици $\mu\text{g C}$ по уравнението - ($C=0.4*DW*10^3$) (Arashkevish et al., 2014).



Фиг. 1. Схема на разположение на станциите на пробонабиране във Варненско езеро и Варненски залив в периода декември 2004, май, август 2005г.

Размерните спектри основани на биомаса или численост се изчисляват като линеен модел от типа $y=a+bx$, отразяващ зависимости между размер и биомаса. Където a 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. Нормализирането се извършва като стойността се разделя на ширината (амплитудата) на класа, към който попада (Platt and Denman, 1978):

$$\beta(w) = \frac{B(w)}{\Delta(w)}$$

Където: $\beta(w)$ е нормализираната биомаса, $B(w)$ -биомаса, $\Delta(w)$ –ширина на размерен клас. Екстремно ниските (0.00001 mg) и високите (1000 mg) стойности не са включени в анализа, за да се избегнат потенциални грешки при изчисляването на наклона и ъгловия коефициент.

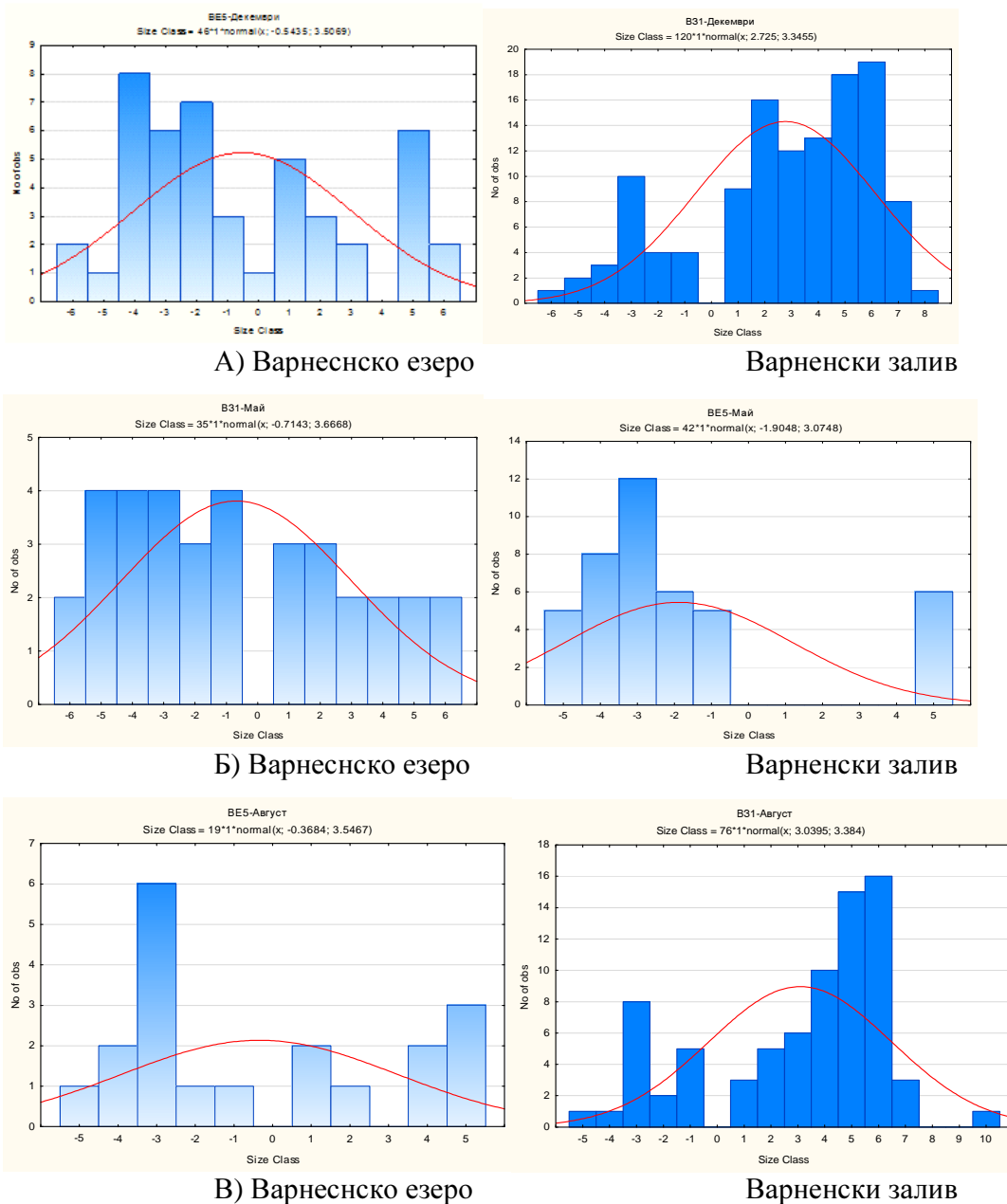
Резултати и дискусия

Биомасите на зоопланктона през различните сезони във Варненско езеро са по-високи над 5 пъти от тези на залива. По отношение на числеността и биомасата, копеподите са основният компонент в зоопланктона - средно над 50 % за всички станции. Най-високи биомаси в спектъра на големите размери са регистрирани през декември във Варненски залив и август във Варненско езеро. Във Варненски залив 88% от общата биомаса е представена от възрастните форми на *Acartia clausi*, които принадлежат към високоразмерните класове – дължина от 760 до 1350 μm и с тегло от 15 до 74.5 $\mu\text{g C}$, отговарящи на размерни класове от 4 до 7 $\mu\text{g C}$. През лятото във Варненско езеро голяморазмерните класове са с участие предимно от *Acartia tonsa* (72%), с обхват на дължината 720 – 920 μm , тегла от 12 - 25 $\mu\text{g C}$, попадащи в размерни класове 4 - 5 $\mu\text{g C}$.

През месец май се наблюдава съвсем различно разпределение между ключовите групи, копеподите отстъпват място на бентосния ларватон с 45% във Варненско езеро и 12% в залива. *Noctiluca scintillans* преобладава в заливната акватория с 64%, а в езерото еднакъв дял имат Cladocera и Rotifera по 22%.

Фракцията с размер $< 300 \mu\text{m}$, която отнасяме към малоразмерните, е с най-висок процент през май (ВЕ - 90% и ВЗ – 46%), а най-нисък през август - едва 8% в езерото и 24% в залива. Тук се включват предимно науплиалните форми на веслоногите рачета, ротиферите и ларвите на Cirripedia, Lamellibranchia, Gastropoda, Polychaeta (ранен стадий).

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 mm до 10 mm обща 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 2 А,Б,В).



Фиг. 2. Хистограми на разпределение на размерните класове ($\log^2 \mu\text{g C}$), асиметрия и ексцес А) декември 2004; Б) май 2005; В) август 2005.

Преобладаващите честоти са вляво (по-малките размерни класове) и само няколко (екстремални) стойности в дясната част на хистограмата. Голямразмерните класове са представени от видове като *A. clausi* за декември, *A. clausi* и *Pseudocalanus elongatus* - май, и *A. tonsa* през август. В залива (с изключение на май месец) разпределението е ляво асиметрично (фигура 2). По-голямата част от разсейването е към високите стойности.

В екосистеми в състояние на стрес диапазонът на размерните характеристики се стеснява (Barbone et al, 2006). Симетричното разпределение се характеризира с равномерно нарастване или намаление на честотите от двете страни на реда. Асиметричността показва липса на еднородност на съвкупността.

Височината на върха на нормалното разпределение се описва с показателя ексцес (kurtosis). Ексцесът е мярка за върхната източеност (изтегленост) на разпределението. Приблизителен тест за нормалност на разпределението е отношението на асиметрията и ексцеса към техните стандартни грешки. Хипотезата за нормалност се отхвърля ако това отношение е по-малко от -2 или по-високо от 2. 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. В централната част преобладават класове с относително ниски честоти – фигура 2. Според тестът 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. По отношение на асиметрията и отношение на стандартната грешка отклоненията за Варненски залив са силни в посока на високите размерни класове. Положителен ексцес се наблюдава през май в езерото.

Изградени са регресионни модели между логаритъма на нормализираната биомаса и теглата (таблица 1, фигура 3). Изчислени са основните статистически характеристики на размерните класове, логаритмувани при основа 2 (таблица 1).

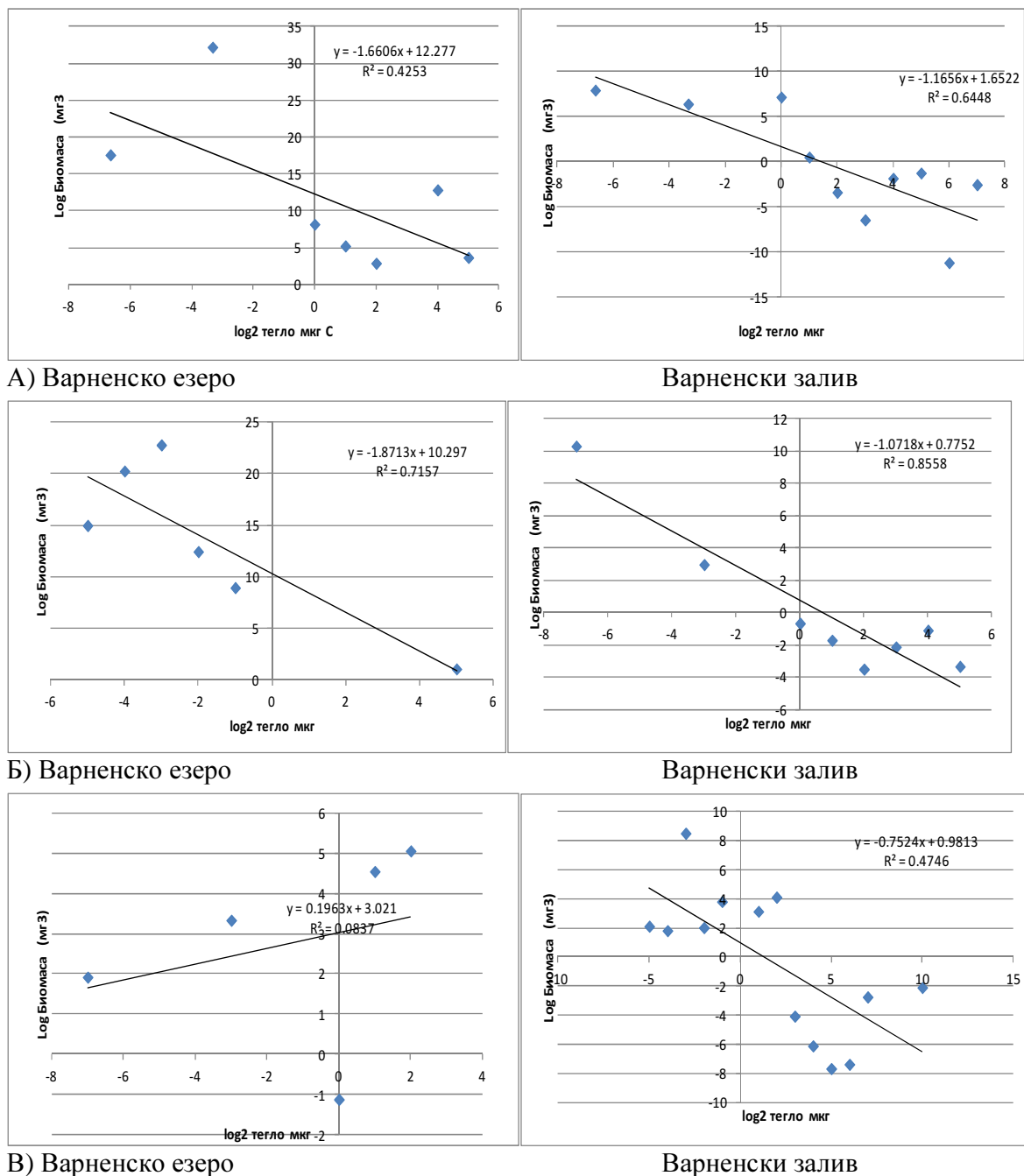
Биомасата на организмите, представена в логаритмична скала, би трябвало да намалява линейно с увеличението на индивидуалните тегла (Rodriguez, Mullin, 1986). Ъгловият коефициент (коефициент на наклона – „b”) може да се използва, за да се оцени разпределението по размерните характеристики. За пелагичните 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 малоразмерните класове, а при по-полегатите зависимости доминират видове с по-големи размери (Cottingham, 1999).

Таблица 1. Ъглов коефициент, свободен член и коефициент на детерминация на регресионните модели между биомаса и тегло ($\mu\text{g C}$).

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

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 3) – 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).



Фиг. 3. Линейни зависимости между логаритмувани нормализирани биомаси и тегло ($\mu\text{g C}$) във Варненско езеро и Варненски залив: А) декември 2004г., Б) май 2005г., В) август 2005г.

Организмите в морската среда са трофично свързани (Platt & Denmann, 1978; Silvert & Platt, 1980), а ъгловия коефициент на зависимостта размер - биомаса характеризира ефективността на трансфера на биомасата от малките до големите по размер групи организми. Установено е, че колкото е по-стръмен наклона на правата, по-голямото количество маломерни организми поддържат относително малък брой по-големи по биомаса видове (Gaedke, 1995, Piontkovski et al., 2003). В езерата високите числености на малоразмерните видове поддържат и по-високи биомаси в сравнение със залива.

Коефициентът на наклона отразява ефективността на преноса на енергия и трофността (степената на обогатяване на средата с биогени). Свободният член се свързва с продуктивността на екосистемата. (Sprules, Munawarp 1986, Martin et al, 2006, Kimmel et al 2006, Boudreau et al., 1991; Thiebaut and Dickie, 1993). По-ниският ъглов коефициент на линейния регресионен анализ между биомаса и тегло във Варненско езеро (Таблица 1), показва, че вероятно в езерото малоразмерните видове усвояват по-голямата част от енергията в съобществото и според неговите стойности трофичната обезпеченост на средата на изследвания район може да бъде оценена като еутрофна.

Свободният член на уравнението (Таблица 2) 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).

От гледна точка на трофичната структура нисък коефициент на детерминация на зависимостта биомаса-размер е индикатор за деструктурирано или неравновесно състояние на съобщество (Boudreau et al., 1991; Thiebaut and Dickie, 1993).

Приложен е дисперсионен анализ отделно на измерванията в залива и езерото. В езерото не съществува значителна разлика между средните на теглата при трите измервания в сезоните през периода 2004-2005 г. – таблица 1. В езерото Фишер критерият (F) е по – висок от критичния (около 3) и нивото на значимост p е по – високо то 0,05. Във Варненски залив дисперсията е висока и теглата, измервани през различните сезони са статистически значимо различни, което вероятно показва, че сезонността е фактор влияещ върху флуктуациите на средата.

Таблица 2. Резултати от дисперсия анализ приложен върху данните на езерото (BE) и залива (B3) (в червено са статически значимите различия при ниво $p < 0.05$).

	Вътрешногрупова сума на отклоненията на средните SS (Effect)	Междугрупови степени на свобода Df	Междугрупова сума на отклоненията на средните (MS)	Вътрешногрупови степени на свобода df	F	p
BE	36.86	2	18.43	104	1.611	0.205
B3	511.94	2	255.97	228	19.897	0.000

Използването на размерни спектри на нормализираната биомаса, техните ъглови коефициенти и информацията за зоопланктонните видове може да бъде ефективен подход за изследване на потока на енергия и трансфер на материя, промените в съобществото и трофичните взаимодействия (Zhou et al., 2009). 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).

Изводи

Прилагането на иновативни екологични методи за определяне на екологичното състояние, състава и структурата на зоопланктона позволяват да бъдат направени следните обобщения и изводи:

- Асиметрията на размерното разпределение на зоопланктона могат да се използват за описание на структурата на зоопланктонното съобщество и отразяват екологичното състояние на средата. Във Варненско езеро асиметрията е дясна (положителна), което отразява липсата на еднородност и концентрирането към по-малките размерни класове. Във Варненския залив преобладаваща е лява (отрицателна) асиметрия с разсейване към високите класове - размери. Диапазонът на размерните характеристики във Варненското езеро се стеснява към по-малките размери в сравнение със залива, което косвено отразява високата трофност на средата.
- Стойността на коефициента на наклона („b”) на взаимовръзката тегло – биомаса дава информация, видовете от коя размерна група доминират в структурата на зоопланктонното съобществото и вероятно имат важна роля в потока на енергия. Коефициентът на наклона „b” на линейната регресия е индиректен показател за трофичния потенциал на средата и за видовото богатство и според неговите стойности трофичната обезпеченост на средата на залива може да бъде оценена като мезо- до еутрофна, а на езерото като еутрофна.
- Коефициентите на детерминация с по-ниски стойности, които отразяват по-слаба взаимовръзка между размер-биомаса във Варненско езеро са индикатор за съобщество под стрес под въздействие на външни натиски, докато по-високите заливни са показател за относително по-стабилно съобщество.

Литература

- [1] Arashkevich E., Stefanova K., Bandelj V., Siokou I., Terbiyik Kurt T., Ak Örek Y., Timofte F., Timonin A.G., Solidoro, C. 2014. Mesozooplankton in the open Black Sea: Regional and seasonal characteristics. *J. Mar. Syst.*, 135, 81-96.
- [2] Barbone E., Sangiorgio F., Basset A., 2006. Body size descriptors of environmental status of transitional ecosystems: benthic invertebrates. Report on body size descriptors of environmental status of transitional ecosystems: benthic invertebrates. TWRReferenceNet PROJECT Management and Sustainable Development of Protected Transitional Waters
- [3] Boudreau, P. R., Dickie, L. M. and Kerr, S. R., 1991. Body-size spectra of production and biomass as system-level indicators of ecological dynamics. *J. Theor. Biol.*, 152, 329–339
- [4] Cottingham K. L.. 1999. Nutrients and Zooplankton as Multiple Stressors of Phytoplankton Communities: Evidence from Size Structure. *Limnology and Oceanography*, Vol. 44, No.3, Part 2: TIIe Effects of Multiple Stressors on Freshwater and Marine Ecosystems (May, 1999), 810-827.
- [5] Elton, C.S., 1927. *Animal Ecology*. Sidgwick and Jackson, London

- [6] Gaedke, U. 1995. A comparison of whole-community and ecosystem approaches (biomass size distributions, food web analysis, network analysis, simulation models) to study the structure, function and regulation of pelagic food webs. *J. Plankton Res.*, 17, 1273–1305.
- [7] Hutchinson, G.E., MacArthur, R.H., 1959. A theoretical ecological model of size distributions among species of animals. *American Naturalist* 93 (869), 117–125
- [8] Huxley, 1932. *Problems of Relative Growth*. Johns Hopkins University Press, Methuen, London.
- [9] Jennings, S., M.J. Kaiser, and J.D. Reynolds. 2001. *Marine fisheries ecology*., 417 p . London: Blackwell Science
- [10] Karl D.M., Bidigare R.R., Letelier R.M., 2001. Long-term changes in plankton community structure and productivity in the North Pacific Subtropical Gyre: the domain shift hypothesis. *Deep-Sea Research Part II, Topical Studies in Oceanography* 48 (8/9), 1449
- [11] Kerr, S. R., 1974. Theory of Size Distribution in Ecological Communities *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, Vol. 31, No. 12: 1859-1862.
- [12] Kimmel D G, Roman M R, Zhang X. Spatial and temporal variability in factors affecting mesozooplankton dynamics in Chesapeake Bay: Evidence from biomass size spectra. 2006 *Limnology and Oceanography*, 51(1): 131–141
- [13] Korshenko A., Alexandrov B., 2014. Zooplankton Manual of Biological methodology in the Black Sea area, Online: <http://bsc.ath.cx/documents/ExpertNetwork/default.asp?I=/Expert%20Network%20-%20Zooplankton>
- [14] Martin E S, Harris R P, Irigoien X. Latitudinal variation in plankton size spectra in the Atlantic Ocean. *Deep Sea Research*, 2006, 53: 1560–1572
- [15] Odum, H.T., 1956. Efficiencies, size of organisms, and community structure. *Ecology* 37 (3), 592–597.
- [16] Piontkovski S., Williams R., Ignatyev S., Boltachev A., Chesalin M., 2003. Structural–functional relationships in the pelagic community of the eastern tropical Atlantic Ocean. *J. Plankton Research*, vol. 25, 9:1021-1034.
- [17] Platt T., Denman K., 1978. The structure of pelagic ecosystems. *Rapp. P.-v Reun. Cons-Int. Explor. Mer.*, 173: 60–65.
- [18] Quinones, R. A., Platt T., Rodriguez J., 2003. Patterns of biomass-size spectra from oligotrophic waters of the Northwest Atlantic. *Prog. Oceanogr.* 57: 405–427.
- [19] Rasmussen J., 1993. Patterns in the Size Structure of Littoral Zone Macroinvertebrate Communities. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50(10): 2192-2207, 10.1139/193-246
- [20] Reizopoulou, S., and Nicolaidou, A., 2007. Index of size distribution (ISD): a method of quality assessment for coastal lagoons. *Hydrobiologia* 577, 141–149
- [21] Rodríguez J., 1994. Some comments on the size-based structural analysis of the pelagic ecosystem. *Scientia Marina* 58 (1–2), 1–10.
- [22] Rodríguez J., Mullin M., 1986. Relation between biomass and body weight of plankton in a steady state oceanic ecosystem. *Limnol. Oceanogr.*, 31(2), 361-370.

- [23]Ruiz, J. 1994. The measurement of size diversity in the pelagic ecosystem. In *The Size Structure and Metabolism of the Pelagic Ecosystem*, pp. 103–107. Ed. by J. Rodriguez and W.K.W. Li. *Scientia Marina*, 58, 167 pp.
- [24]Silvert, W. and Platt, T. 1978. Energy flux in the pelagic ecosystem: a time-dependent equation. *Limnol. Oceanogr.*, 23, 813–816.
- [25]Sheldon R., Sutcliffe W.H., Paranjape M. A., 1977. Structure of pelagic food chain and relationship between plankton and fish production. *J. Fish. Res. Board Can.* 34: 2344-2353.
- [26] Sourisseau, M., Carlotti, F., 2006. Spatial distribution of zooplankton size spectra on the French continental shelf of the Bay of Biscay during spring 2000 and 2001. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 111, C05S09
- [27]Sprules W.G., Munawar M., 1986. Plankton size spectra in relation to ecosystem productivity, size, and perturbation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 43 (9), 1789–1794.
- [28] Stemmann, L., Boss, E., 2012. Plankton and particle size and packaging: from determining optical properties to driving the biological pump. *Annual Review of Marine Science* 4 (1), 263–290.
- [29]Thiebaut, M. L. and Dickie, L. M., 1993. Models of aquatic biomass size spectra and the common structure of their solutions. *J. Theor. Biol.*, 159, 147–161.
- [30] Zhou, M., 2006. What determines the slope of a plankton biomass spectrum? *Journal of Plankton Research* 28 (5), 437–448.

За контакти:

гл. ас. д-р Кремена Благовестова Стефанова
Институт по Океанология – БАН, Варна
Секция „Биология и екология на морето”
Тел. 052/370 486
e-mail: stefanova@io-bas.bg
доц. д-р Валентина Георгиева Дончева
Институт по Океанология – БАН, Варна
Секция „Морска геология и археология”
Тел. 052/370 486