

Харитоновна Юлія Вадимівна
Дядичко Василь Геннадійович

Інститут морської біології НАН України,
kharytonova_julia@ukr.net
wasajzdiadel@gmail.com

АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ЗООПЛАНКТОНУ ЗГІДНО ЗІ СТАНДАРТАМИ ДИРЕКТИВИ ЄС ПРО МОРСЬКУ СТРАТЕГІЮ

Зоопланктон – ключова ланка у будь-якій водній екосистемі, кількісний та якісний стан якої є важливим показником біорізноманіття та якості водного середовища в цілому. Зоопланктон відіграє важливу роль у пелагічній харчовій мережі, оскільки він пов’язує первинних виробників органічної речовини (фітопланктон) і більш високі трофічні рівні (переважно риб) (Александров, Харитоновна, 2019а).

Зоопланктон бере участь в процесі самоочищення води, що обумовлено його харчуванням детритом, бактеріо- і фітопланктоном, які є основними компонентами зваженої органічної речовини. В результаті вода очищається від органічної та неорганічної суспензії, збільшується прозорість води, мінералізуються зважені органічні речовини і втягуються у колообіг речовин, відбувається осадження та накопичення суспензій на дні. Найбільш активно процес самоочищення здійснюється фільтраторами: гіллястовусими ракоподібними, коловертками, веслоногими та інфузоріями. Велику роль відіграють хижі веслоногі, які також вживають в їжу органіку, особливо в період метаморфозу на наупліальні та молоді копеподітні стадії розвитку (Александров, 2008, 2016; Александров, Харитоновна, 2019а).

Антропогенний вплив різного типу, що приводить до евтрофікації та забруднення водойм, змінює основні характеристики всіх компонентів водної екосистеми. Одним з найважливіших компонентів, структурно і функціонально пов’язаних з іншими, є угруповання зоопланктону. Згідно з Marine Strategy Framework Directive (MSFD), новий підхід для визначення якості водного середовища базується на більшій значущості біологічних показників в порівнянні з хімічними. Для більш детальної оцінки якості води, аналогічно Водній Рамковій Директиві (Water Frame Directive – WFD), стали використовувати п’ятибальну шкалу: висока (High), гарна (Good), середня (Medium), низька (Poor), погана (Bad) якість (Харитоновна, 2019; Aleksandrov et al., 2014).

Місце, матеріали та методи дослідження. Ключовими географічними об’єктами екологічного моніторингу Чорного моря (згідно WFD – DIRECTIVE 2000/60/EC та MSFD – DIRECTIVE 2008/56/EC) є:

1. Прибережні води (*coastal waters*) – поверхневі водні об’єкти, які поширюються в бік берега від лінії, кожна точка якої розташована на відстані однієї морської милі в бік моря від найближчої точки базової лінії, від якої вимірюється ширина територіальних вод, поширюючись до зовнішнього кордону перехідних (проміжних) вод (WFD).

2. Перехідні, або проміжні води (*transitional waters*) – поверхневі водні об'єкти поблизу гирла річок, які характеризуються неповною (частковою) солоністю в результаті їх близькості до прибережних морських вод, на які істотно впливають прісноводні стоки (WFD).
3. Морські, або відкриті води (*marine waters*) – усі води у морях/океанах, які не належать до категорій «прибережні води» і «транзитні води» (MSFD) (Александров, 2016; Directive..., 2008; Commission ..., 2017; State of Environment..., 2014).

Вибір станцій та частота відбору проб зазвичай збігаються із станціями де збирають фітопланктон. Фактором, що впливає на розподіл планктону є розподіл хлорофілу «а», що віддзеркалює масштаби біогенного стоку річок, який визначає рівень евтрофування.

При виділенні біологічних сезонів в морі, що важливо для визначення якості води з рахунком сезонних змін кількісного розвитку зоопланктону, особливе значення має температура води, при зміні гідрофізичних умов: зима – $T_{\text{води}} < 8^{\circ}\text{C}$ (відсутність термокліну), весна – $T_{\text{води}} 8-16^{\circ}\text{C}$ (формування термокліну), літо – $T_{\text{води}} > 16^{\circ}\text{C}$ (термоклін), осінь – $T_{\text{води}} 16-8^{\circ}\text{C}$ (заглиблення термокліну) (Александров, 2008; Александров, Харитонов, 2019b; Руководство..., 2016; Aleksandrov et al., 2014).

Основні поняття, що використовуються при оцінці якості морського середовища (MSFD):

1. Метрика (metric) – те, що може бути виміряне, тобто різні характеристики, що використовуються при оцінці якості водного середовища.
2. Добрий екологічний стан (Good Ecological Status – GES або GenS). Для визначення GES морських екосистем в рамках MSFD був розроблений огляд методологічних стандартів, який включив опис індикаторів для 11 дескрипторів.
3. Еталонні умови, до впливу людини (reference period, pristine conditions).
4. Відносна екологічна якість середовища (Ecological Quality Ratio – EQR) – це відношення значення метрики в районі досліджень до еталонного значення (reference conditions). Його значення лежить між 0 і 1 (Александров, Харитонов, 2019b; Руководство..., 2016; Харитонов, 2019; Directive..., 2008; Commission..., 2017).

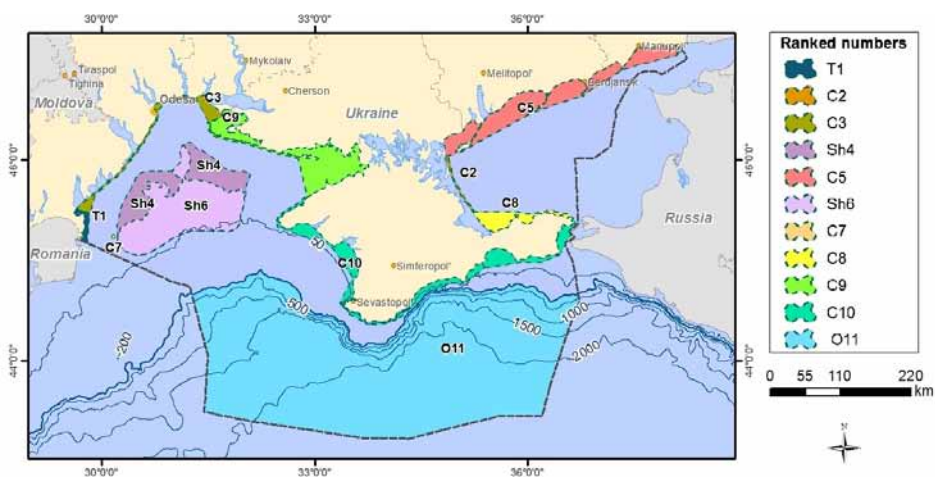


Рис. 1. Райони багаторічного моніторингу Чорного та Азовського морів (Commission..., 2017)

Екологічний клас якості та екологічний стан за показниками зоопланктону визначали в 5 районах Північно-західної частини Чорного моря (Commission..., 2017): Північно-західні Чорноморські затоки (C9), глибоководний шельф (Sh6), мілководний шельф (Sh4), Придунайсько-Дніпровські прибережні води (C3) та Дельта Дунаю (T1) (рис. 1).

Для визначення якості Північно-Західної частини Чорного моря за показниками стану зоопланктону використовували наступні характеристики (метрики) (Александров, Харитонов, 2019а, 2019b; Руководство..., 2016):

1. Загальну біомасу зоопланктону (B), мг·м⁻³;
2. Біомасу ночесвітки *Noctiluca scintillans* (Noc), % від загальної біомаси;
3. Біомасу веслоногих Copepoda (Cop), % від загальної біомаси;
4. Біомасу желегілих – сцифоїдних і гідроїдних медуз та реброплавів (Jel), % від загальної біомаси;
5. Індекс Шеннону за чисельністю (Ha), біт·екз⁻¹;

З урахуванням того, що перевагу слід надавати інтегральним показникам на основі визначення усіх вище зазначених характеристик, обчислювався інтегральний показник стану зоопланктону (K_f) за формулою М.Д. Бурштейна (Руководство..., 2016):

$$K_f = (K_{i \min}^{a_i})^{0.5} \cdot (K_1^{a_1} \cdot K_2^{a_2} \cdot \dots \cdot K_n^{a_n})^{1/2n}$$

де K_1, K_2, K_n – метрики (різні характеристики зоопланктону);

a_1, a_2, a_n – вагові коефіцієнти метрик;

n – кількість метрик.

Умови: $0 < K_i \leq 1$ та $0 < a_i \leq$

Порогові значення інтегрального показника зоопланктону в межах української частини Чорного моря та Дельти Дунаю, який визначає якість водного середовища відповідно до останньої методології MSFD за п'ятибальною шкалою для кожного сезону та наведені у таблицях 1 та 2.

Таблиця 1. Значення інтегрального показника стану зоопланктону для визначення якості морських вод України (Александров, Харитонов, 2019b)

Сезон	Екологічний клас якості води (EQR)				
	Високий	Добрий	Середній	Низький	Поганий
Прибережні води, Дунайський район					
Весна	> 0.939	0.939 – 0.925	0.924 – 0.915	0.914 – 0.881	< 0.881
Літо	> 0.667	0.667 – 0.631	0.630 – 0.565	0.564 – 0.487	< 0.487
Осінь	> 0.910	0.910 – 0.899	0.898 – 0.890	0.889 – 0.867	< 0.867
Зима	> 0.743	0.743 – 0.733	0.732 – 0.709	0.708 – 0.699	< 0.699
Прибережні води, Дністровсько-Дніпровський район					
Весна	> 0.900	0.900 – 0.883	0.882 – 0.863	0.862 – 0.789	< 0.789
Літо	> 0.215	0.215 – 0.167	0.166 – 0.094	0.093 – 0.054	< 0.054
Осінь	> 0.871	0.871 – 0.849	0.848 – 0.841	0.840 – 0.827	< 0.827
Зима	> 0.837	0.837 – 0.804	0.803 – 0.789	0.788 – 0.651	< 0.651

Сезон	Екологічний клас якості води (EQR)				
	Високий	Добрий	Середній	Низький	Поганий
Зона шельфу, поверхневий шар (0-10 м), Дунайський район					
Весна	> 0.927	0.927 – 0.917	0.916 – 0.899	0.898 – 0.864	< 0.864
Літо	> 0.538	0.538 – 0.511	0.510 – 0.477	0.476 – 0.382	< 0.382
Осінь	> 0.941	0.941 – 0.928	0.927 – 0.914	0.913 – 0.884	< 0.884
Зима	> 0.603	0.603 – 0.597	0.596 – 0.593	0.592 – 0.591	< 0.591
Зона шельфу, поверхневий шар (0-10 м), Дністровсько-Дніпровський район					
Весна	>0.927	0.927 – 0.912	0.911 – 0.897	0.896 – 0.835	< 0.835
Літо	>0.872	0.872 – 0.854	0.853 – 0.828	0.827 – 0.599	< 0.599
Осінь	>0.832	0.832 – 0.713	0.712 – 0.618	0.617 – 0.581	< 0.581
Відкриті води, поверхневий шар (0-10 м)					
Весна	>0.864	0.864 – 0.851	0.850 – 0.838	0.837 – 0.806	<0.806
Літо	>0.706	0.706 – 0.686	0.685 – 0.684	0.683 – 0.674	<0.674
Осінь	>0.463	0.463 – 0.452	0.451 – 0.321	0.320 – 0.129	< 0.129
Зима	>0.944	0.944 – 0.928	0.927 – 0.903	0.902 – 0.889	< 0.889
Зона шельфу та відкриті води, зона термокліну (10-25 м)					
Весна	>0.942	0.942 – 0.926	0.925 – 0.911	0.910 – 0.892	< 0.892
Літо	>0.647	0.647 – 0.635	0.634 – 0.617	0.616 – 0.602	< 0.602
Осінь	>0.924	0.924 – 0.907	0.906 – 0.895	0.894 – 0.866	<0.866
Зима	>0.396	0.396 – 0.340	0.339 – 0.280	0.279 – 0.268	< 0.268
Відкриті води (25-100 м)					
Весна	>0.940	0.940 – 0.937	0.936 – 0.929	0.928 – 0.918	<0.918
Літо	>0.893	0.893 – 0.876	0.875 – 0.812	0.811 – 0.701	<0.701
Осінь	>0.949	0.949 – 0.942	0.941 – 0.923	0.922 – 0.891	< 0.891
Зима	>0.945	0.945 – 0.943	0.942 – 0.935	0.934 – 0.902	< 0.353

Таблиця 2. Значення інтегрального показника стану зоопланктону для визначення якості перехідних вод української частини дельти Дунаю (Харитонова, 2019)

Високий	Добрий	Середній	Низький	Поганий
Весна				
>0,483	0,483 – 0,437	0,436 – 0,365	0,364 – 0,268	<0,268
Літо				
>0,584	0,584 – 0,513	0,512 – 0,411	0,410 – 0,376	<0,376
Осінь				
>0,663	0,663 – 0,620	0,619 – 0,539	0,538 – 0,473	<0,473

Результати дослідження та їх обговорення. За результатами багаторічного моніторингу стану зоопланктону Північно-західної частини Чорного моря, проаналізовано якість водного середовища. Якість води визначали в різні сезони року (весна, літо, осінь) за п'ятибальною шкалою екологічного стану від відмінного до поганого (табл. 3).

Таблиця 3. Екологічний клас якості водного середовища
Північно-західної частини Чорного моря за вимогами Водної Рамкової Директиви

%№	Район	Коефіцієнт екологічної якості (EQR)			Екологічний клас якості		
		Весна	Літо	Осінь	Весна	Літо	Осінь
11	Північно-західні Чорноморські затоки (C9)	0,90	0,74	0,89	добрий	низький	середній
22	Глибоководний шельф (Sh6)	0,73	-	-	поганий		
43	Мілководний шельф (Sh4)	0,78	-	-	поганий		
44	Придунайсько-Дніпровські прибережні води (C3)	0,95	0,94	0,92	відмінний	відмінний	відмінний
5	Дельта Дунаю (T1)	0,81	0,53	0,84	відмінний	добрий	відмінний

Відмінний екологічний стан спостерігався протягом року тільки в межах Придунайсько-Дністровських прибережних вод. Гарні показники бачимо і в Дельті Дунаю (відмінний клас весною та осінню, добрий – влітку). Водне середовище Північно-західних Чорноморських заток змінює свою якість залежно від сезону (від доброго до низького). Тільки акваторії мілководного та глибоководного шельфу показали найнижчий «поганий» екологічний клас якості.

Також якість морських та перехідних вод визначали за двома класами: «добра екологічна якість (GES)» та «недобра екологічна якість (Not GES)», що за п'ятибальною шкалою було відповідно GES – «відмінна» та «добра» якість води, Not GES – «середня», «низька» та «погана» якість води». Для встановлення порогових значень використовували наступні індикаторні екологічні показники зоопланктону: загальну біомасу, відсоткову долю Copepoda від загальної біомаси та відсоткову долю *Noctiluca scintillans* від загальної біомаси.

Оскільки біомаса зоопланктону дуже сильно змінюється в залежності від сезону, для весни, літку та осені визначені різні граничні значення цієї метрики, які відповідають градації п'яти рівнів якості середовища згідно зі стандартами Водної рамкової директиви (High, Good, Moderate, Poor, Bad). Екологічний стан морської території (EQR) вважається «добрим» (GES), якщо біомаса зоопланктону навесні становить 150-400 мг·м⁻³, влітку 350-900 мг·м⁻³, восени – 150-350 мг·м⁻³ (Stefanova et al., 2016). Для визначення екологічного стану морських та прибережних вод відповідно до граничних значень, знаходили максимальне, мінімальне та середнє значення біомаси зоопланктону для кожного району дослідження та протягом всіх сезонів року, окрім зими. Значення загальної біомаси зоопланктону наведені у таблиці 4.

Таблиця 4. Значення загальної біомаси зоопланктону (мг·м⁻³)
Північно-західної частини Чорного моря

№	Район	Біомаса зоопланктону (мг·м ⁻³)								
		Максимальна			Мінімальна			Середня		
		Весна	Літо	Осінь	Весна	Літо	Осінь	Весна	Літо	Осінь
1	Північно-Західні Чорноморські затоки (C9)	971,6	4149,6	1856,8	1,41	7,20	1,48	119,05	247,93	346,56
2	Глибоководний шельф (Sh6)	279,01	-	-	22,72	-	-	97,10	-	-
3	Мілководний шельф (Sh4)	119,44	-	-	6,04	-	-	44,07	-	-
4	Придунайсько-Дніпровські прибережні води (C3)	24,96	22,425	475,62	10,42	7,38	9,23	15,86	14,45	130,31
5	Дельта Дунаю (T1)	96,15	3187,43	550,83	2,14	5,14	5,38	45,74	366,66	122,29

За результатами багаторічного моніторингу бачимо, що «добра екологічна якість» (GES) спостерігається тільки в акваторіях Північно-західних Чорноморських заток (осінь) та Дельти Дунаю (літо). Водні середовища всіх інших районів та сезонів показали «недобру екологічну якість» (Not GES).

Веслоногі ракоподібні мають найдовші життєві цикли серед чорноморських зоопланктерів, тому їхня біомаса та відсоткова доля від загальної біомаси зоопланктону сильно зменшується під дією евтрофікуючого фактору. Добре відомо, що при антропогенній евтрофікації будь-якого типу водних екосистем керуючу роль у формуванні біомаси зоопланктону відіграють короткоциклічні організми (Protista, Rotatoria). Таким чином, відсоткова доля Copepoda від загальної біомаси зоопланктону є надійним індикатором екологічного стану акваторії. Для морських вод Чорного моря показником «доброго» екологічного стану (GES) вважається середньорічна біомаса Copepoda, яка перевищує 45 % від загальної біомаси зоопланктону (Stefanova et al., 2016). Для визначення екологічного стану морських та прибережних вод відповідно до граничних значень, для кожного району дослідження знаходили максимальне, мінімальне та середнє значення біомаси Copepoda від загальної біомаси зоопланктону (табл. 4).

Таблиця 4. Значення біомаси Copepoda від загальної біомаси зоопланктону (%)
Північно-західної частини Чорного моря

№	Район	Біомаса Copepoda, %		
		Максимальна	Мінімальна	Середня
1	Північно-Західні Чорноморські затоки (C9)	88,55	8,74	36,85
2	Глибоководний шельф (Sh6)	99,40	40,88	70,34
3	Мілководний шельф (Sh4)	92,88	9,12	57,16
4	Придунайсько-Дніпровські прибережні води (C3)	169,91	4,97	48,93
5	Дельта Дунаю (T1)	98,43	0,45	45,7

За результатами багаторічного моніторингу бачимо, що «добра екологічна якість» (GES) за показником відсоткового складу Copepoda від загальної біомаси зоопланктону спостерігається в усіх акваторіях, крім району Північно-західних Чорноморських заток, де % Copepoda менший, ніж 45 %, що показує «недобру екологічну якість» (Not GES).

Біомаса *Noctiluca scintillans* та її відсоткова доля від загальної біомаси зоопланктону – метрика, що певною мірою є зворотним показником від попередньої, тому що *N. scintillans* є дуже короткоциклічним видом, який набуває масового розвитку під впливом евтрофікуючого фактору. Чим більше біомаса ночесвітки та її відсоткова доля від загальної біомаси зоопланктону, тим більш евтрофними є умови та тим гірший стан екосистеми в цілому. Для морських вод Чорного моря «добрим» (GES) вважається стан угруповання зоопланктону, коли відсоткова доля *N. scintillans* від загальної біомаси не перевищує 30 % (Stefanova et al., 2016).

Для визначення екологічного стану морських та прибережних вод відповідно до граничних значень, для кожного району дослідження знаходили максимальне, мінімальне та середнє значення біомаси *N. scintillans* від загальної біомаси зоопланктону (%). Значення наведені у таблиці 5.

Таблиця 5. Значення біомаси *N. scintillans* від загальної біомаси зоопланктону (%)
Північно-західної частини Чорного моря

№	Район	Біомаса Copepoda, %		
		Максимальна	Мінімальна	Середня
1	Північно-Західні Чорноморські затоки (C9)	58,83	6,41	26,70
2	Глибоководний шельф (Sh6)	56,2	0	15,48
3	Мілководний шельф (Sh4)	60,12	0	14,93
4	Придунайсько-Дніпровські прибережні води (C3)	0	0	0
5	Дельта Дунаю (T1)	99,26	0	18,76

За результатами багаторічного моніторингу бачимо, що «добра екологічна якість» (GES) за показником відсоткового складу *N. scintillans* від загальної біомаси зоопланктону спостерігається в усіх районах Північно-західної частини Чорного моря, так як середній багаторічний показник не перевищує 30 %.

Отже, за результатами багаторічного моніторингу Північно-західної частини Чорного моря, бачило, що досліджувані акваторії майже за всіма показниками показали «добрий» екологічний стан. За показниками *N. scintillans*, Copepoda та загальної біомаси бачимо певні розбіжності у визначення точного екологічного класу якості. Тому, для більш детальної та якісної характеристики якості водного середовища краще використовувати інтегральний показник якості, що поєднує в собі всі найважливіші показники зоопланктону. Розрахована методика, згідно з вимогами Директиви ЄС про Морську стратегію, дозволяє оцінити та проаналізувати екологічний стан будь-якої акваторії за показниками зоопланктону, а також оцінити стан біорізноманіття гідробіонтів при подальшому моніторингу водних екосистем.

Висновки:

1. За значеннями інтегрального показника екологічного стану (EQR) відмінний екологічний стан (high) спостерігаємо протягом року тільки в межах Придунайсько-Дністровських прибережних вод, а також в Дельті Дунаю («відмінний» клас весною та осінню, «добрий» – влітку). Водне середовище Північно-західних Чорноморських заток змінює свою якість залежно від сезону (від «доброго» до «низького»). Райони мілководного та глибоководного шельфу показали найнижчий «поганий» (bad) екологічний клас якості.
2. За показником загальної біомаси зоопланктону, «добра екологічна якість» (GES) спостерігається в акваторіях Північно-західних Чорноморських заток (осінь) та Дельти Дунаю (літо). Водні середовища всіх інших районів та сезонів показали «недобру екологічну якість» (Not GES).
3. За показником біомаси Copepoda (%) від загальної біомаси зоопланктону, «добра екологічна якість» (GES) спостерігається в усіх акваторіях, крім району Північно-західних Чорноморських заток, де % Copepoda менший, ніж 45%, що показує «недобру екологічну якість» (Not GES).
4. «Добра екологічна якість» (GES) за показником відсоткового складу *N. scintillans* (%) від загальної біомаси зоопланктону спостерігається в усіх районах Північно-західної частини Чорного моря, так як середній багаторічний показник не перевищує 30 %.

Список використаних джерел:

1. Александров Б.Г. Гидробиологические основы управления состоянием прибрежных экосистем Черного моря. Киев: Наукова думка, 2008. — 343 с.
2. Александров Б.Г. Общие замечания к методике количественного учета зоопланктона и использование интегральной оценки состояния зоопланктона для определения качества морской среды (методика расчета, шкалы оценки качества) // Workshop on the NPMS and JOSS Biological Monitoring Methods. — 2016. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://emblasproject.org/gallery/npms-joss-biology-training>
3. Александров Б. Г., Харитонов Ю. В. Імплементція Директиви ЄС про Морську стратегію для Державного моніторингу зоопланктону морських вод України // Матеріали Всеукраїнської наук. конф. «Євроінтеграція екологічної політики України» (м. Одеса, 29 – 31 травня 2019 р., ОДЕКУ). — Одеса, 2019а. — С. 28-37.
4. Александров Б.Г., Харитонов Ю.В. Керівництво з моніторингу зоопланктону морських вод України та визначення їх екологічного стану за стандартами Директиви ЄС про Морську стратегію. — Одеса, 2019b. — 33 с.
5. Руководство по организации и проведению биологического мониторинга на стационарных пунктах. Составители: Александров Б.Г. и др. — Одесса, 2016. — 6 с.
6. Харитонов Ю.В. Аналіз перехідних вод Українського шельфу Чорного моря за показниками зоопланктону (на прикладі дельти Дунаю). Вісник Одеського Національного Університету. Серія: Біологія, 2019. — Том 24, 2 (45) . — С. 88-96.
7. Aleksandrov B., Arashkevich E., Gubanova A., Korshenko A. Black Sea Monitoring Guidelines – Mesozooplankton. In: EU/UNDP Project: Improving Environmental Monitoring in the Black Sea – EMBLAS. Project Activity 3: Development of cost-effective and harmonized biological and chemical monitoring programmes in accordance with reporting obligations under multilateral environmental agreements, the WFD and the MSFD, 2014. — 31 pp.
8. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of marine environmental policy, 17 June 2008. (MSFD, 2008/56/EC)
9. Commission Decision (EU) 2017/848 of 17 May 2017 laying down criteria and methodological standards on good environmental status of marine waters and specifications and standardised methods for monitoring and assessment, and repealing Decision 2010/477/EU C/2017/2901 ELI. Available at: <http://data.europa.eu/eli/dec/2017/848/oj> \
10. State of Environment Report of the Western Black Sea based on Joint MISIS cruise (SoE-WBS). Ed. by Moncheva S. and L. Boicenco. In: MISIS Joint Cruise Scientific Report, 2014. — 401 pp.
11. Stefanova K., Stefanova E., Doncheva V. A classification system for evaluation of ecological status of coastal marine waters in respect of zooplankton biological element of quality In: Proceeding of “Seminar of ecology – 2015 with international participation” (23-24 April, 2015). Bulgaria, Sofia, 2016. — 8 pp.