

ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ДИРЕКТИВИ ЕС ПРО МОРСЬКУ СТРАТЕГІЮ ДЛЯ ДЕРЖАВНОГО МОНІТОРИНГУ ЗООПЛАНКТОНУ МОРСЬКИХ ВОД УКРАЇНИ

Александров Б.Г.

ДУ «Інститут морської біології Національної академії наук України»

Харитонова Ю.В.

Одеський державний університет ім. І.І. Мечникова

Застосування індикаторів, що мають контролювати біологічне різноманіття водних екосистем, необхідне для підтримки їх стабільного існування та попередження негативних впливів антропогенного навантаження. Ця проблема активно вирішується на чисельних засіданнях Міжнародних організацій: Секретаріатом Міжнародної комісії з охорони Чорного моря від забруднення (BSC), Комісією з захисту оточуючого середовища Балтійського моря (HELCOM), Європейською агенцією з охорони природи (EEA), програмою з охорони оточуючого середовища ООН (UNEP) та входить у відповідні програми екологічного моніторингу, наприклад для водних екосистем Чорного моря [17]. Серед останніх – програма MISIS (2012-2014) для Болгарії, Румунії і Туреччини, EMBLAS – Грузії, Російської Федерації і України, проект ANEMONE, що розпочався з поточного року.

Новий підхід для визначення якості водного середовища. Згідно Морської стратегії Водної Рамкової Директиви ЕС (MSFD) базується на переважній значущості біологічних показників якості води над хімічними. Крім того, для більш детальної оцінки якості водного середовища аналогічно Водній Рамковій Директиві (WFD) у MSFD стали використовувати п'ятибальну оцінку якості води: висока (High), добра (Good), середня (Medium), бідна або низька (Poor), погана (Bad).

Основними проблемними питаннями методики визначення якості морського середовища за біологічними показниками, які повинні бути розроблені для ключових компонентів водної екосистеми (criteria elements): фітопланктону, зоопланктону, фітобентосу та зообентосу є:

1. Обґрунтування еталонних умов (referent conditions) якості водного середовища, які можуть бути прийняті як показники «добрих екологічних умов» (Good Environment Status - GES) по WFD [10], (Good Ecological State - GES) згідно MSFD [11] або «відмінної - High» чи «доброї - Good» якості води.

2. Пошук ключових показників (характеристик, метрик) стану згаданих життєвих форм.

3. Температурні параметри виділення сезонів (біологічної зими, весни, літа і осені).

Згідно з рекомендаціями проекту MISIS фахівцями Болгарії, Румунії і Туреччини, під еталонними умовами, пов'язаними з реєстрацією великомасштабного евтрофікації на початку 1970-х років, були прийняті середні значення характеристик стану фітопланктону, зоопланктону і макрозообентосу, попередні до цього періоду [16]. Іншими словами, середні

значення характеристик за період 1950-1970 були визначені, як відповідні найбільш високому екологічному рівню (ESC), а їх середні значення за період 1980-1990 відповідали найгіршим якості морських вод.

У разі відсутності тривалих рядів спостережень (менше 40 років), а також того факту, що вселення реброплава *Mnemiopsis leidyi* в 1980-х роках, призвело до катастрофічних змін в пелагічній екосистемі Чорного моря в 1990-х [14], можна використовувати такі індикатори стану пелагіалі, що чутливо відображають рівень евтрофікації, наприклад, структурно-функціональні характеристики гідробіонтів: первинна і вторинна продукція, вміст хлорофілу «а», питома поверхня водоростей макрофітів (S/W). Останній зі згаданих показників, добре відображає загальну динаміку змін, що відбулися на північно-західному шельфі Чорного моря з початком великомасштабної евтрофікації (Рис. 1). Багаторічні зміни S/W добре відповідають динаміці насичення морських вод киснем в поверхневому шарі, а також річної концентрацією хлорофілу «а» в глибоководній частині Чорного моря [7, 8], тобто корелюють з інтенсивністю функціонування фіто- і зоопланктону.

Для встановлення граничних значень ключових показників (характеристик) необхідно визначити їх крайні значення, відповідні «дуже хорошому» (High) і «дуже поганому» (Bad) якості води. Якщо скористатися річною динамікою вже згаданої S/W макрофітів, то найбільш високому екологічному рівню морської води будуть відповідати роки з мінімальним значенням S/W, а дуже поганому - з максимальним (Рис. 2). Такий підхід може бути використаний для визначення середніх порогових значень всіх біологічних показників якості морського середовища для обраних таким чином років. Дуже важливо, що даний підхід дозволяє врахувати і екстремальні впливи температури. Так, у 2010 році, який характеризувався екстремально високою температурою води, якість води по показнику S/W була «погана» (див. Рис. 2).

Визначивши середні крайні значення характеристик (показників, або метрик) порогові значення п'яти класів якості води можна знайти за допомогою процентілей [5], за допомогою стандартних обчислень за Excel.

За показниками евтрофікації в північно-західній частині Чорного моря виділяють три райони [8], які також слід враховувати при аналізі якості морських вод.

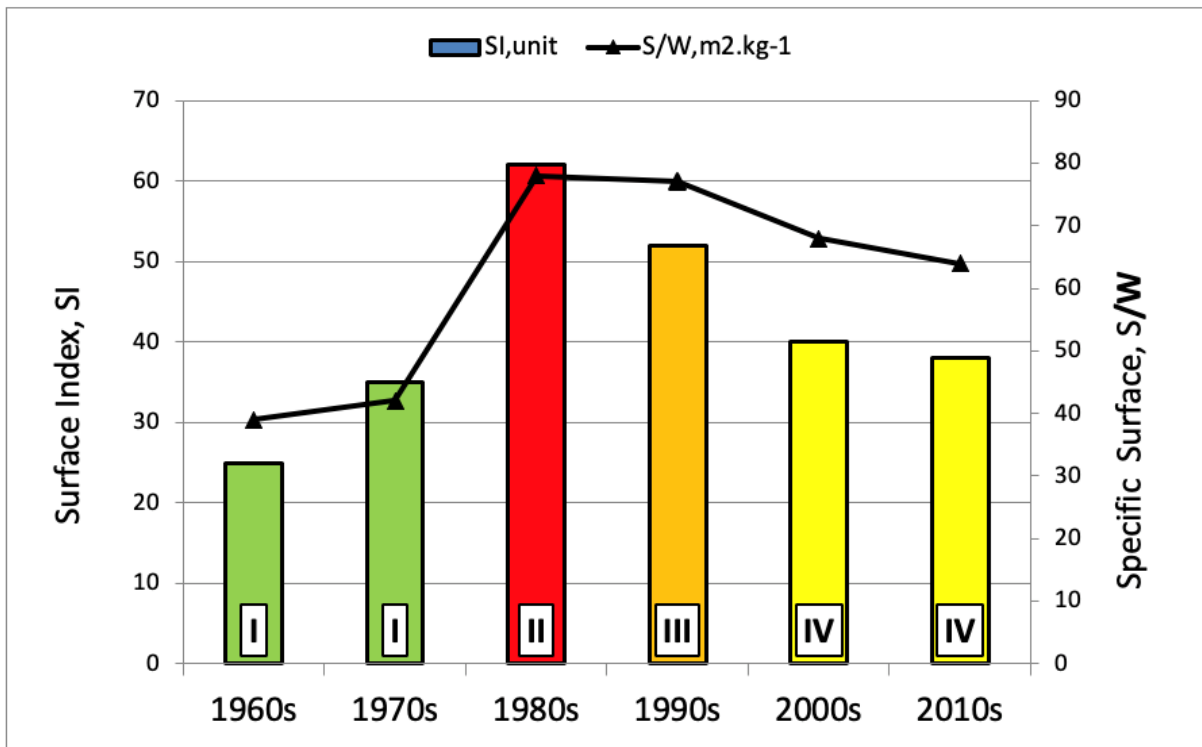


Рис. 1 – Історичні етапи евтрофікації північно-західного чорноморського шельфу: **I** - природний стан; **II** - інтенсивна евтрофікація; **III** – стабілізація (нерухомість); **IV** - стійка тенденція деєвтрофування [9].

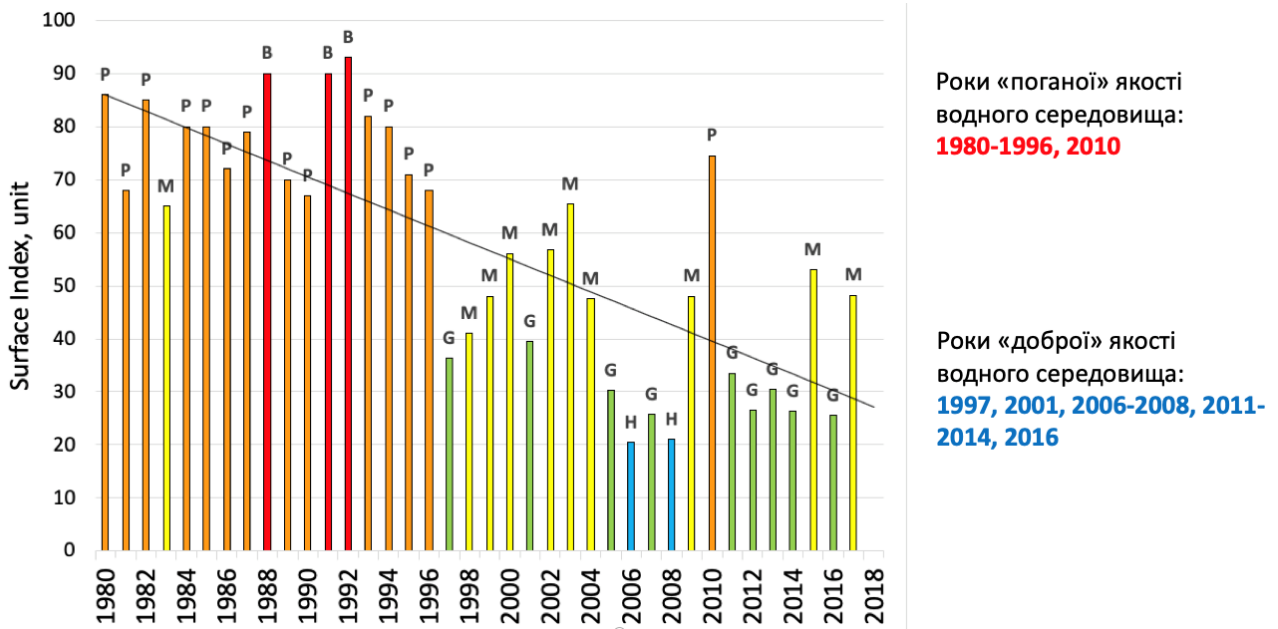


Рис. 2 – Довгострокова динаміка екологічного статусу водного середовища у ПЗЧМ: **H** - Високий (блакитний); **G** - Добрий (зелений); **M** - помірний (жовтий); **P** - низький (помаранчевий); **B** - поганий (червоний) за значеннями поверхневого індексу (SI) макрофітів (звіт Г.Г. Мінічевої консультативній групі з біологічного різноманіття BSC).

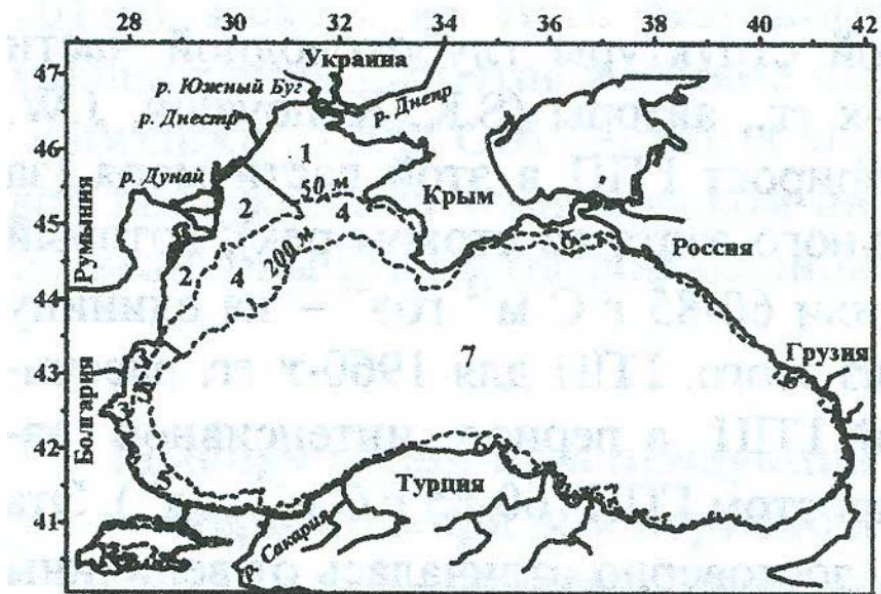


Рис. 3 – Райони Чорного моря (1-7), виділені для вивчення кількісних закономірностей і механізмів евтрофікації [8].

Ключові показники компонентів екосистеми (criteria elements) за зоопланктоном: загальна біомаса B , $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$) за минулими сезонами за останні три роки (тренд); частка ночісвітки *Noctiluca scintillans* від загальної біомаси зоопланктону (N_{oc} , %); частка біомаси Copepoda (C_{op} , %); індекс Шеннона (H' , $\text{біт}\cdot\text{екз}^{-1}$) за чисельністю, як кількісний показник біологічного різноманіття [16].

Для підвищення якості визначення стану морської води за зоопланктоном у теперішній час додатково оцінюється можливість використання ще двох показників: частка біомаси желетілих - усіх реброплавів, гідроїдних та сцифоїдних медуз (Jel , %); питома продукція зоопланктону (P , доба^{-1}).

За рекомендаціями MSFD особлива увага приділяється інтегрованим показникам стану життєвих форм гідробіонтів (K_f), що дає можливість об'єднати усі зазначені вище показники у один. Обчислення інтегрального показника стану зоопланктону (K_f) виконувалась за рівнянням М.Д. Бурштейна [1]:

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

де K_1, K_2, K_n - метрики (різні характеристики зоопланктону); a_1, a_2, a_n - вагові коефіцієнти метрик; n - кількість метрик. Вагові коефіцієнти обчислювались як коефіцієнт кореляції кожної характеристики за індексом Шенонна допускаючи, що у найкращих умовах оточуючого середовища біологічне різноманіття є максимальним. Ваговий коефіцієнт H' приймався рівним 0.9. Усі метрики перетворювались таким чином, що враховували максимально можливі значення (для більшості характеристик, наприклад, B, N_{oc}, Jel , вони відповідали зворотної величині, що відповідала за вищу якість води, тобто $1 - K_n$). Для H' значення K поділялося на 3.5, тобто на максимальне зареєстроване значення за весь період формування бази вихідних даних. Таким чином, з одного боку усі

значення посилювали один одного (наприклад, добрий екологічний стан спостерігався при максимальній біомасі копепод і мінімальній – ночесвітки), з другого боку фактично усі характеристики (метрики) відповідали максимальному значенню відносної екологічної якості (Ecological Quality Ratio - EQR). Кількісно EQR це відношення кількісного значення метрики, або інтегрального показника якості водного середовища, до його еталонного значення. Значення цього відношення лежить у діапазоні від 0 до 1. Загальні умови ключових обчислюваних параметрів рівняння: $0 < K_i \leq 1$ та $0 < a_i \leq 1$.

Температура води є одним з основних факторів, що впливають на водні організми і визначають їх функціональну активність. Температура визначає «біологічні сезони» в морі [12, 13].

Чорне море є помірне-континентальною водоймою з великою амплітудою сезонних коливань температури. У зимовий час температура поверхневого шару моря знижується до 4-6 °С на північному сході і на 6-8 °С в центральній частині відкритого моря. Влітку температура досягає 27 °С і вище. Формування сезонного термокліна починається в квітні-травні, в залежності від регіональних кліматичних умов. Цей період, як правило, асоціюється з гідрологічними та біологічними змінами навесні і супроводжується цвітінням фітопланктону і репродуктивною активністю багатьох пелагічних і донних безхребетних (з розвитком їх пелагічних личинок). Влітку, коли верхній шар стає більш теплішим, термоклін заглиблюється, і до осені товщина верхнього перемішаного шару може досягати 30-50 м залежно від динаміки вод. Нижче термокліну температура круглий рік постійна і становить 7-8 °С. Сезонне положення термокліну обумовлює вертикального розподілу теплолюбних зоопланктерів. Осінні шторми і падіння температури руйнують термоклін і взимку температура стає практично гомогенною у всій товщі води в більшості районів моря за винятком прибережних районів, де вона може бути і нижчою.

При виділенні біологічних сезонів у морі особливе значення має температура води, коли враховуються гідрофізичні умови [3]:

- Зима - $T_{\text{води}} < 8$ °С (відсутність термокліну),
- Весна - $T_{\text{води}} 8-16$ °С (формування термокліну),
- Літо - $T_{\text{води}} > 16$ °С (термоклін),
- Осінь - $T_{\text{води}} 16-8$ °С (заглиблення термокліну).

Особливості виділення біологічних сезонів у морі:

- Зима і літо характеризуються граничними температурами води і відсутністю виражених градієнтів швидкості їх зміни.
- Весна і осінь, навпаки, виділяються по максимальній швидкості змін температури води.
- Біологічна весна в Чорному морі починається після досягнення температури води 8-10 °С.

Сезонність гідрофізичних характеристик може незначно змінюватися в залежності від регіональних кліматичних умов і географічного положення, але в загальних рисах має загальну закономірність для всього Чорного моря [2].

Відмінності в річній динаміці температури води біля берегів Грузії, Російської Федерації та України на підставі довідкової літератури [4, 7] відрізняється (Табл. 1).

Таблиця 1 – Середньомісячна температура води біля узбережжя країн Чорного моря в 2010 і 2011 роках.

	Одеса (Ua)	Геленджик (Ru)	Поті (Ge)	Сіноп (Tu)	Бургас (Bg)	Констанца (Ro)
2010						
Січень	2.75	10.41	12.21	10.52	7.46	6.23
Лютий	0.88	8.76	9.40	8.81	3.53	2.56
Березень	3.73	8.93	8.77	7.78	5.23	4.52
Квітень	9.42	10.79	10.58	10.37	10.29	10.85
Травень	16.21	16.56	17.34	15.50	15.71	14.69
Червень	21.55	22.40	22.08	20.91	20.62	19.08
Липень	24.36	26.19	25.77	25.05	24.98	25.25
Серпень	27.03	27.68	28.74	27.02	27.09	27.37
Вересень	20.04	24.98	25.54	22.18	22.81	21.16
Жовтень	14.24	19.26	20.25	18.19	16.89	15.48
Листопад	11.97	16.34	16.78	15.61	14.36	14.03
Грудень	7.12	13.75	11.14	13.08	10.91	9.87
2011						
Січень	3.15	11.65	12.33	10.49	7.39	4.99
Лютий	3.73	9.44	7.87	8.83	5.56	4.89
Березень	2.10	8.53	9.33	7.82	4.26	2.98
Квітень	7.57	9.61	9.56	8.47	8.13	7.84
Травень	15.47	15.87	14.68	13.76	15.97	17.35
Червень	21.82	21.54	21.46	19.99	21.4	20.68
Липень	22.89	24.28	24.31	23.62	24.48	23.37
Серпень	22.61	25.00	25.62	24.66	24.77	23.91
Вересень	20.87	23.51	23.88	23.11	23.38	22.68
Жовтень	15.46	18.32	19.88	18.84	19.84	18.02
Листопад	8.15	14.09	3.43	13.86	11.79	10.02
Грудень	6.76	11.01	10.99	11.26	9.67	8.73

Моніторинг фіто- і зоопланктону рекомендується проводити в періоди, які відповідатимуть чотирьом описаним вище біологічним сезонам. Початок і тривалість яких відрізняється в прибережних районах чорноморських країн. Таким чином, температура води, а не календарні дати, повинні бути сигналом для відбору проб (Табл. 2).

Відбір проб необхідно здійснювати після досягнення морською водою регламентованої температури і адаптації прибережної екосистеми до даного режиму протягом декади (виключити відбір проб при впливі сгонно-нагінних вітрових явищ).

Таблиця 2 – Графік відбору проб відповідно до сезонів в різних районах Чорного моря

Район	Календарні місяці	Температура води, °С
З И М А		
Одеса	XII-IV	< 8
Геленджик	I-III	< 10
Батумі	I-III	< 10
В Е С Н А		
Одеса	IV-V	8-18
Геленджик	IV-V	10-18
Батумі	IV-V	10-18
Л І Т О		
Одеса	VI-VIII	> 18
Геленджик	VI-IX	> 20
Батумі	VI-IX	> 20
О С І Н Ї		
Одеса	IX-XI	18-10
Геленджик	X-XII	20-12
Батумі	X-XII	20-12

Геленджик і Батумі близькі за температурного режиму. Однак, у зв'язку з різною швидкістю зміни температури води:

- зима біля берегів Одеси коротше на місяць, в порівнянні з Геленджиком і Батумі;
- весняний і літній періоди наступають на місяць раніше, при цьому літо на один місяць триваліше;
- осінній період у часі збігається.

Відбір проб макрофітобентосу, який на відміну від фітопланктону має значно більшу тривалість розвитку, також проводиться 4 рази на рік, але в періоди, пов'язані з інтенсивністю фотосинтетичної активності радіації [14]. Зима, весна, літо і осінь найбільш яскраво проявляються для донної рослинності в першій декаді березня, червні, вересні і грудні відповідно.

При виділенні районів моря для моніторингу слід брати до уваги, що слід виділяти:

- Прибережні морські води - прибережну смугу від берега (урізу води) на видаленні однієї милі у бік моря. Якщо взяти до відому, що зоопланктонні сітки мають висоту біля 2 метрів мінімальна глибина їх використання становить не більш як 5 метрів. Тому в Україні, що має мілководний шельф слід використовувати солоність води. Коли солоність дорівнює 10 °С то ці дані слід враховувати для визначення прибережних вод, хоча проби можуть бути відібрані далеко від берега. Коли солоність дорівнює більш ніж 10⁰С, то це шельфові води.

- Шельфові води – відокремлюються від берегової зони своєю відстанню до однієї милі від берега та глибини до 50 м.

- Відкриті води – розповсюджені від глибини 50 м і глибше у межах територіальних вод держави (див. Рис. 3).

Райони моніторингу виділяються національними експертами з урахуванням розподілу донного ландшафту, глибини, впливу річкового стоку і антропогенного тиску.

На завершення слід підкреслити, що щодо вимог ЄС до моніторингу морських вод в якості ключових показників розвитку планктону - загальна біомаса (чисельність) фітопланктону і зоопланктону - використовують не їх середньорічні значення, а загальний тренд їх змін за минули три роки, тобто середню за три попередні роки. Дані вимоги обґрунтовані тим, що враховують відхилення результатів моніторингу конкретного року, пов'язані із загальними змінами умов існування екосистеми, в тому числі кліматичними. Такий підхід видається правильним, так як згладжує природні зміни, зумовлені великою кількістю інших факторів, що впливають.

На прикладі багаторічного моніторингу у аванделті Дунаю 2004-2017 рр. були проаналізовані дані гідрологічних і біологічних показників за середніми щомісячними значеннями, які включали в себе осереднені дані від 15 до 20 станцій. Визначили інтегральний показник, а потім екологічний клас якості за методикою WRD. Всього для визначення порогових значень інтегрального показника стану зоопланктону у весінній період проаналізовані данні 51 станції, літом – 119, а восени - 96 (Табл. 3).

Таблиця 3 – Порогові значення інтегрального показника (K_f) стану зоопланктону для визначення якості поверхневих вод (горизонт 0-10 м) морського середовища у Дунайському районі Чорного моря

Якість води				
Висока	Добра	Середня	Недостатня	Погана
Весна				
> 0.483	0.482-0.437	0.436-0.365	0.365-0.268	< 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

Добра якість була в листопаді 2004 та восени 2005 року. У період з 2006 року і до літа 2007 якість погіршилась. В цих роках було найгірша якість. З 2008 і до 2013 року показники якості вирости до середньої. У вересні 2015 року якість знову підвищилася до доброї. Надалі (осінь 2015 - літо 2016) спостерігали середні показники якості та навіть нижче середнього (листопад 2016). І з 2017 року якість водного середовища покращилась, що відобразилося на показниках GES (Рис. 4).

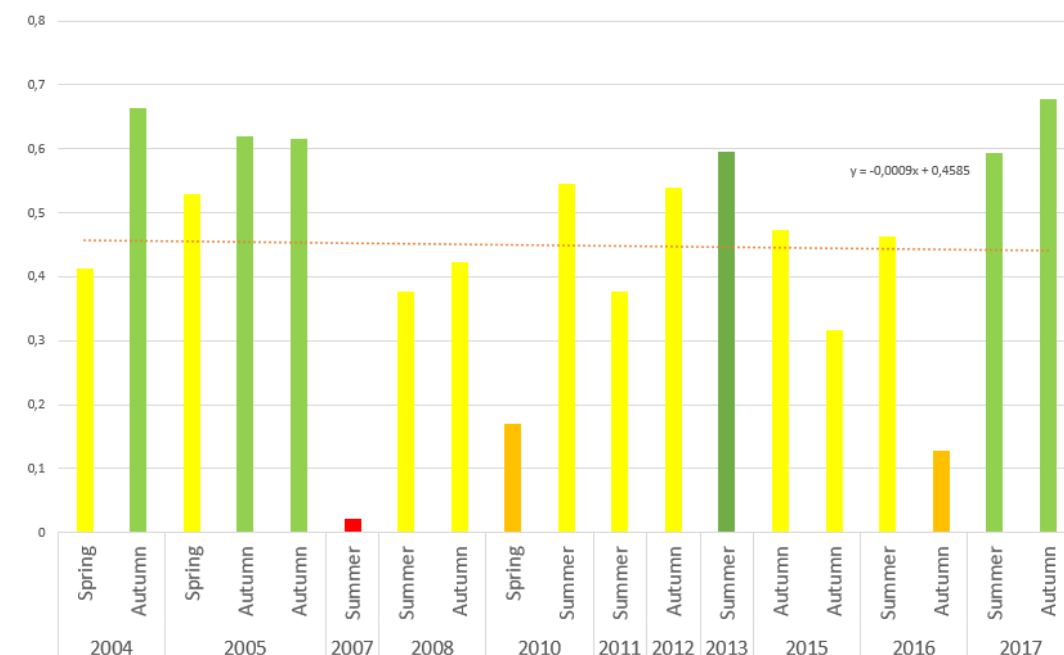


Рис. 4 – Динаміка якості морських прибережних вод Дунайського району Чорного моря за п'ятибальною оцінкою (див. Табл. 4).

Можна зробити висновок, що у період з 2004 по 2017 рік якість воді у прибережній зоні моря української дельти Дунаю змінювалась від середньої до доброї.

Література

1. Бабенко В.В., Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Черныи Е.Д., Романов Н.Н., Герасимчук А.В. Обработка геологической информации на микрокалькуляторе.- М.: Недра, 1988.- 134с.
2. Блатов А.С., Булгаков Н.П., Иванов В.А., Косарев А.Н., Тужилкин В.С. Изменчивость гидрофизических
3. Виноградов М.Е., Сапожников В.В., Сушкина Е.А. Экосистема Черного моря.- Москва: Наука, 1992.- 112 с.
4. Ильин Ю.П., Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н., Горячкин Ю.Н., Дьяков Н.Н., Кубряков А.А., Станичный С.В. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2: Черное море.- Севастополь, 2012.- 421 с.
5. Семенченко В.П. Принципы и системы биоиндикации текучих вод.- Минск: Изд-во «Орех», 2004.- 124с.
6. Сіохін В.Д., Александров Б.Г., Черничко Й.І., Дубина Д.В., Волох А.М., Мацюра О.В., Мальцева І.А., Андрущенко Ю.О., Горлов П.І., Подорожний С.М., Чесалін М.В., Чесаліна Т.Л., Винокурова С.В., Кирикова Т.О., Долинна О.М., Сальнікова-Буденко І.Б., Сіохін Є.В. Оцінка ландшафтного та біологічного різноманіття інтегральними біологічними індикаторами та маркерами. – Мелітополь: МДПУ імені Б. Хмельницького, 2014. – 153с.
7. Справочник по гидрологическому режиму морей и устьев рек СССР.- Часть 1, Т. 4, Вып. 1: Черное море.- Киев, 1970.- 386 с.

8. Юнев О.А. Антропогенная эвтрофикация Черного моря: количественная оценка, механизмы, роль в распределении органического вещества по основным трофическим цепям в пелагиали // Автореф. дис. на соиск. науч. ст. док. биол. наук.- Севастополь, 2012.- 45с.

9. Alexandrov B., Minicheva G., Zaitsev Yu. Black Sea network of marine protected areas: European approaches and adaptation to expansion and monitoring in Ukraine.- In: Management of marine protected areas: a network perspective from the Mediterranean and Black Sea / Ed. by Paul D. Goriup.- Wiley-Blackwell Publ., 2017.- P. 259-282.- 312pp.

10. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for the community action in the field of water policy // Official Journal of the European Communities.- 2000.- P. 1-73.

11. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 / Official Journal of the European Union / P. 19-40.

12. Hoffmann G.E., Todgham A.E. Living in the now: physiological mechanisms to tolerate a rapidly changing environment // Annu. Res. Physiol.- T. 72.- 2010.- P. 127-145.

13. Portner H.O. Climate variations and the physiological basis of temperature dependent biogeography: systemic to molecular hierarchy of thermal tolerance in animals // Comp. Biochem. Physiol.- 2002.- T. 132.- P. 739-761.

14. Minicheva G.G. National Pilot Monitoring Studies and Joint Open Sea Surveys in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2016.- Scientific Report.- Presentation on the EMBLAS workshop, 19 February, 2017, Tbilisi, Georgia.

15. Minicheva G., Afanasiev D., Tsetskhladze M., Mgeladze M., Tretiak I. II.4. Macrophytobenthos.- National Pilot Monitoring Studies and Joint Open Sea Surveys in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2016.- Draft Scientific Report.- February 2017.- P. 170-184.

16. Moncheva S., Boicenco L. (Eds). State of Environment Report of the Western Black Sea based on Joint MISIS cruise.- MISIS Joint Cruise Scientific Report.- 2014.- 401 pp.

17. Reynolds P. The development of environmental indicators of monitor the effectiveness of environmental pollution reduction policies in the Black Sea basin // Report.- GEF/UNDP Black Sea Ecosystem Recovery Project.- Istanbul, Turkey: 2000.- 106pp. pjreynolds@blacksea-environment.org

18. 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 / Proceeding of „Seminar of ecology – 2015 with international participation”, 23-24.04.2015.- Sofia, Bulgaria, 2016.- P. 231-240.

19. Zaitsev Yu. and Öztürk B. (Eds) Exotic species in the Aegean, Marmara, Black, Azov and Caspian Seas. Published by Turkish Marine Research Foundation.- Istanbul, Turkey 2001.- 267 pp.