

ГОСУДАРСТВЕННОЕ АГЕНТСТВО РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА УКРАИНЫ

ЮЖНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МОРСКОГО
РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ

КЕРЧЕНСКИЙ ГОРОДСКОЙ СОВЕТ

ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНЫ
МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНЫ

ФГУП «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ЮЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ИНСТИТУТ ЗООЛОГИИ АКАДЕМИИ НАУК МОЛДОВЫ

МАТЕРИАЛЫ

VII МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

«СОВРЕМЕННЫЕ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА»

ТОМ 1

г. Керчь, 20 - 23 июня 2012 г.

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА МОРСКИХ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ В РАЙОНЕ ОСТРОВА ЗМЕИНЫЙ

Н. В. Ковалева, В. И. Мединец

Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова

*На основе данных о содержании хлорофилла *a*, растворенного кислорода, общего азота и фосфора были рассчитаны значения трофического индекса TRIX для поверхностных вод Черного моря в районе острова Змеиный за период 2004 - 2011 гг. Проанализирована межгодовая динамика индекса TRIX и показано, что он изменялся в диапазоне от 3,1 до 7,0 и охватывал все категории трофического состояния морских вод от олиготрофных до гипертрофных. Минимальные значения ($TRIX < 4$) чаще всего наблюдались в летние периоды, а максимальные – ($TRIX = 6 - 7$) - весной и осенью, что было обусловлено влиянием речного стока реки Дунай. Выполнено моделирование TRIX за период 1988 - 2003 гг. Сравнение с результатами других исследователей показало, что качество морских вод возле Острова Змеиный значительно выше, чем в прибрежных районах Черного моря. Предлагается использовать научно-исследовательскую станцию на острове Змеиный в качестве фоновой для оценки качества морских вод западной части Черного моря.*

Ключевые слова: TRIX, общий азот, общий фосфор, хлорофилл *a*, растворенный кислород

Введение

На протяжении последних десятилетий одной из основных проблем ухудшения состояния прибрежных экосистем морей Европы [11], в том числе и Черного моря [10] является эвтрофикация, которая вызвана чрезмерным уровнем соединений азота и фосфора в морских прибрежных водах. Для снижения потоков биогенных веществ и уменьшения эвтрофикации Европейские страны предпринимают значительные усилия, направленные на выявление районов морей, наиболее чувствительных к биогенному загрязнению, в соответствии с методологией, которая была предложена Водной рамочной директивой (ВРД) [16].

Недостатком подхода ВРД к оценке экологического состояния прибрежных морских вод является довольно сложный учет функционирования биологических сообществ, гидроморфологических и физико-химических показателей. Более простой метод интегрированной оценки качества прибрежных морских вод с помощью трофического индекса TRIX был предложен Воленвейдером [15] для отдельных районов Средиземного моря, который в последние годы все шире используется для других европейских морей, в том числе и для Черного моря [1, 2, 6, 9, 14].

Результаты наших исследований прибрежных вод Черного моря, прилегающих к о. Змеиный [4, 5] показывают, что для вод северо-западной части Черного моря (СЗЧМ) основным процессом деградации морских экосистем является эвтрофикация, вызванная поступлением биогенных веществ из береговых источников, от речного стока и из атмосферы. При этом уровни эвтрофикации и степень воздействия различных источников на морские экосистемы зависит от района исследований (прибрежные воды, придельтовые районы, открытые воды моря). Особую ценность представляют регулярные исследования в открытых водах моря, которые позволяют проводить оценки состояния экосистемы Черного моря в целом.

Научно-исследовательская станция (НИС) «Остров Змеиный» Одесского национального университета им. И.И. Мечникова на протяжении последнего десятилетия проводит регулярные комплексные гидрологические, гидрохимические, гидробиологические, метеорологические и другие наблюдения за состоянием прибрежных вод о. Змеиный, которые по своим гидролого-гидрохимическим характеристикам относятся к открытым водам Черного моря [3, 4].

Цель нашей работы – оценить долговременные изменения качества и трофического состояния морских вод Черного моря в районе о. Змеиный.

Материалы и методы

Материалом для анализа послужили результаты регулярных наблюдений за содержанием кислорода, $N_{\text{общ}}$, $P_{\text{общ}}$ и хлорофилла *a*, распределение которых в период 2004 - 2010 гг. приведено на рисунках 1 - 4 соответственно, а также данные авторов, полученные при исследовании прибрежных вод СЗЧМ за последние 22 года.

В пробах морской воды, отобранных в поверхностном слое прибрежных вод о. Змеиный проводились измерения содержания кислорода (DO_2 , %), общего азота ($N_{\text{общ}}$), общего фосфора ($P_{\text{общ}}$),

хлорофилла *a* и других гидрологических и гидрохимических параметров. Измерение концентраций хлорофилла *a* выполнялось стандартным спектрофотометрическим методом [7]. Биогенные вещества ($N_{\text{общ}}$ и $P_{\text{общ}}$) и кислород определялись рутинными методами согласно [8]. Трофический индекс (TRIX) рассчитывался по уравнению [15] приведенному ниже:

$$\text{TRIX} (\text{TN}, \text{TP}) = \log([\text{Chl } a] \times [\text{DO}_2(\%)] \times [\text{NT}] \times [\text{PT}] + 1,5) / 1,2$$

где $\text{Chl } a$ – концентрация хлорофилла *a* ($\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$)

$\text{DO}_2(\%)$ – содержание растворенного кислорода в % от уровня насыщения;

NT – концентрация общего азота ($\mu\text{gN} \cdot \text{L}^{-1}$).

PT – концентрация общего фосфора ($\mu\text{gP} \cdot \text{L}^{-1}$).

Трофический уровень оценивался по значениям TRIX [15], который изменяется в диапазоне от 0 до 10 и характеризует трофность морской среды: низкий трофический уровень (< 4), средний (4 - 5), высокий (5 - 6) и очень высокий (> 6), что соответствует категориям трофности вод: олиготрофные, мезотрофные, евтрофные и гипертрофные.

Данные по динамике расчетного индекса TRIX в районе о. Змеиный представлены за 2004 - 2010 гг., а изменения концентраций хлорофилла *a* и смоделированного индекса TRIX анализируются за период 1988 - 2010 гг.

Результаты и обсуждения

Анализ первичных данных, приведенных на рис. 1 - 4, показал следующее.

Относительное содержание кислорода ($\text{DO}_2, \%$) в прибрежных к о. Змеиный водах (рис. 1) в 2004 - 2011 гг. изменялось от 71,9 до 152,6 %. При этом минимальные значения $\text{DO}_2, \%$ наблюдались в октябре - ноябре, а максимальные – в осенне - зимний период года.

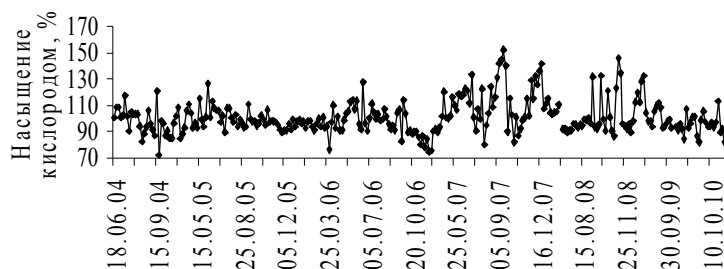


Рисунок 1 – Относительное содержание кислорода (%) в поверхностных водах моря у берегов о. Змеиный

Содержание общего фосфора в поверхностных водах моря у берегов о. Змеиный (рис. 2) изменялось от 1,0 до 176 $\mu\text{кгP/л}$. При этом максимальные значения регистрировались в основном в осенний период года (октябрь 2007, 2009 и 2010 гг.), а минимальные значения наблюдались в летний период.

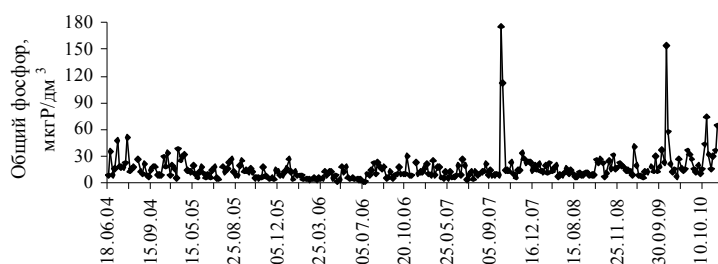


Рисунок 2 – Колебания концентраций общего фосфора в поверхностных водах моря у берегов о. Змеиный

Содержание общего азота (рис. 3) изменялось от 7,2 до 4913,4 $\mu\text{кгN/л}$, при этом максимальные значения определены весной 2006 г.

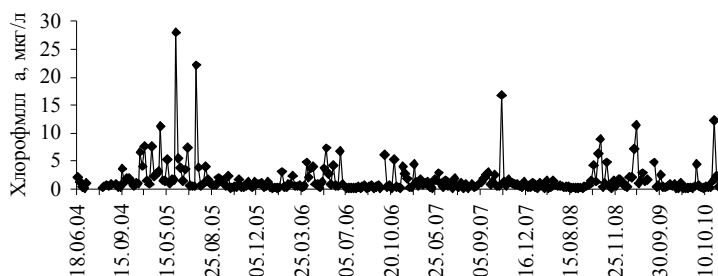


Рисунок 3 – Колебания концентраций общего азота в поверхностных водах моря у берегов о. Змеиный

Содержание хлорофилла *a* в 2004 - 2010 гг. (рис. 4) изменялось от 0,12 до 28,03 $\mu\text{кг/л}$. При этом максимальные значения чаще всего регистрировались весной и осенью, хотя в 2005 г. максимум был зарегистрирован в начале летнего периода. Минимальные концентрации хлорофилла *a* были характерны для августа и зимнего периода, когда наблюдается спад развития фитопланктона.

Анализ изменений индекса TRIX в прибрежных водах о. Змеиный (рис. 5) показал, что диапазон его колебаний очень широкий (от 3,0 до 7,0) и в соответствии с классификацией [15], охватывает все категории трофности вод от

олиготрофных до гипертрофных.

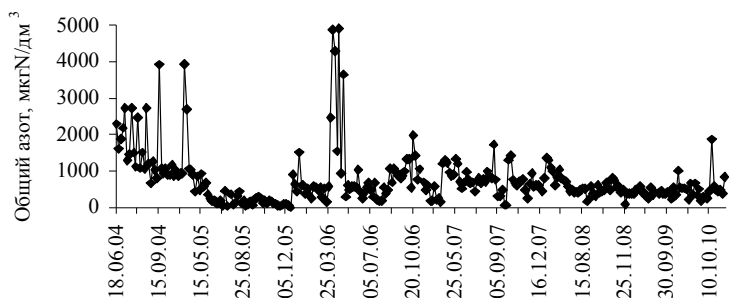


Рисунок 4 – Колебания концентраций хлорофилла а в поверхностных водах моря у берегов о. Змеиный

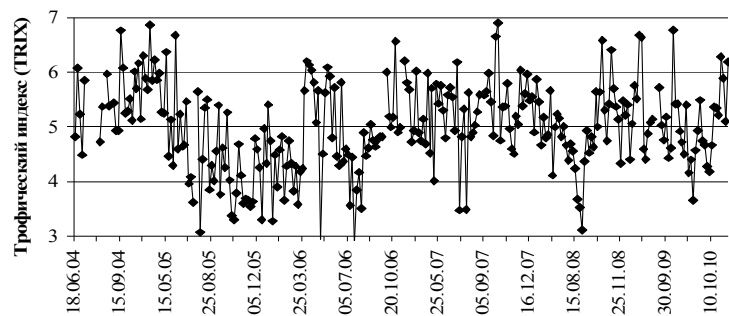


Рисунок 5 – Многолетняя динамика трофического индекса (TRIX) в поверхностных водах моря у берегов о. Змеиный

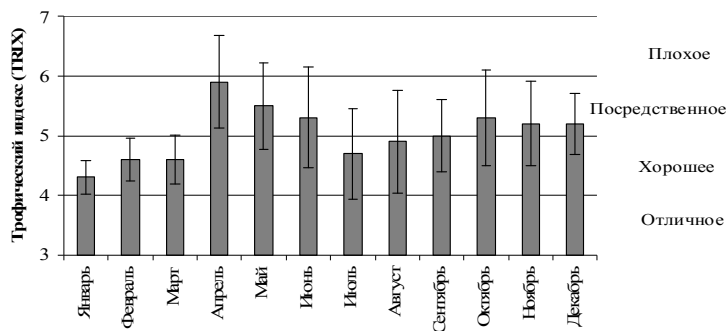


Рисунок 6 – Сезонная динамика трофического индекса (TRIX) и оценка состояния поверхностных вод моря у берегов о. Змеиный в период 2004 - 2010 гг.

итического моря [15] и у берегов Болгарии [13]. Однако у южного побережья Черного моря минимальные значения индекса TRIX регистрировались в апреле 2003 г. [9].

Корреляционный анализ, проведенный нами для массивов данных, показал, что коэффициенты линейной корреляции TRIX с $N_{\text{общ}}$, $P_{\text{общ}}$ и DO_2 (%) составляли соответственно 0,43; 0,43 и 0,28.

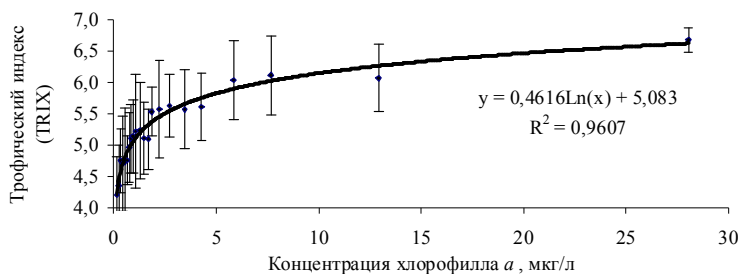


Рисунок 7 – Зависимость изменений трофического индекса (TRIX) от концентраций хлорофилла а в северо-западной части Черного моря у побережья о. Змеиный

олиготрофных до гипертрофных. Однако основной массив данных (43 и 39 %) указывает на то, что исследованная вода относилась к категориям мезотрофные (TRIX = 4 - 5) и эвтрофные воды (TRIX = 5 - 6) соответственно.

И только 6 % отобранных образцов воды относились к категории олиготрофные (TRIX = 3 - 4) и 12 % – гипертрофные (TRIX = 6 - 7) воды. Динамика среднемесячных значений TRIX (рис. 6) показывает, что самые низкие трофические индексы определены в январе и постепенно повышались в феврале и марте, достигнув максимальных (TRIX = 5,9) в апреле.

Примечательно, что в летний период происходило существенное снижение индекса по сравнению с весной, и в июле-августе среднемесячные значения составляли 4,7 - 4,9, что характеризует состояние вод как хорошее. В осенний период значения трофического индекса опять возрастали и, также как весной, соответствовали состоянию посредственных морских вод. Увеличение трофического индекса весной и осенью в исследованном районе связано с возрастанием речного стока [4] и накопление органического вещества в течение вегетационного периода [12].

Аналогичная особенность сезонных колебаний трофического индекса, с понижением его значений в летний период, была отмечена в прибрежных водах Адриатического моря.

Наиболее тесная корреляционная взаимосвязь (рис. 7) наблюдалась между TRIX и хлорофиллом а ($r = 0,98$; $p = 0,01$), из которой следует, что с увеличением концентраций хлорофилла а трофический индекс возрастает пропорционально натуральному логарифму содержания этого пигмента.

Полученная нами практически функциональная зависимость между содержанием хлорофилла а

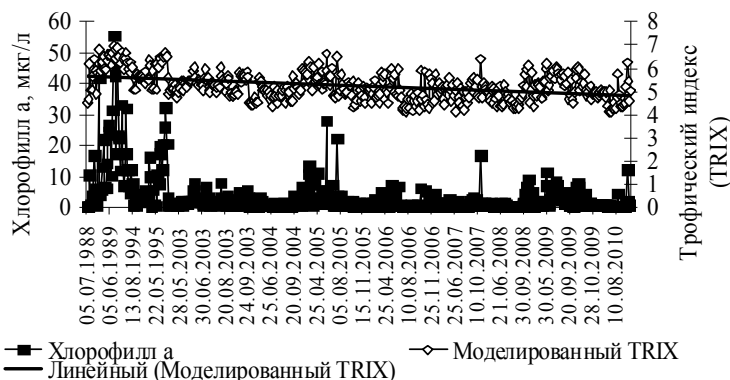


Рисунок 8 – Многолетняя динамика хлорофилла а и трофического индекса (TRIX) в северо-западной части Черного моря у побережья о. Змеиный

($r = 0,01$).

Анализ трофического состояния прибрежных вод о. Змеиный за период 1988 - 2010 гг. показал, что среднее значение индекса TRIX в 1988 - 1989 гг. составляло 6,1 и соответствовало категории гипертрофных морских вод. В 1994 - 1995 гг. трофический индекс понизился до 5,9 и стал соответствовать категории эвтрофных морских вод. В последующие годы (2003 - 2010) среднегодовое значение индекса TRIX постепенно снижалось и достигало минимума в 2005, 2006 и 2008 гг., соответствуя категории мезотрофные. Результаты определения TRIX (таблица) убедительно показывают снижение эвтрофикации прибрежных районов северо-западной части Черного моря по сравнению с прошлыми десятилетиями. В последние годы значение TRIX является пограничным между средним и высоким трофическим уровнем. При этом полученные результаты указывают на то, что за последние 6 лет качество морских вод у берегов о. Змеиный практически не менялось.

Сравнение наших данных с результатами других авторов, представленными в таблице, показало, что значения TRIX для морских вод вблизи о. Змеиный были наименьшими. Так, в Варненском заливе среднее многолетнее (1994 - 2000 гг.) значение индекса TRIX составляло 5,3 [14]. На взморье Дуная [1] среднее значение TRIX весной 2008 г. было равно 5,8, а осенью достигало 6,9. У турецкого побережья Черного моря [9] значения индекса TRIX в течении года изменялись от 6,9 до 7,7. При этом среднее значение TRIX у о. Змеиный составляло около 5,0, изменяясь от 4,6 в 2005 до 5,3 в 2007 гг. Таким образом, современный трофический статус морских вод в районе о. Змеиный является наиболее низким среди изученных районов Черного моря, что позволяет

и значением TRIX позволяет нам использовать ее для оценок значения TRIX только по значениям концентрации хлорофилла а в случае отсутствия данных о содержании кислорода, азота и фосфора. На рис. 8 показана многолетняя динамика хлорофилла а в прибрежных водах северо-западной части Черного моря и смоделированные по хлорофиллу значения трофического индекса TRIX за 1988 - 2010 гг. Сравнение смоделированных значений TRIX (рис. 8) с реальными данными (см. рис. 5) за период 2004 - 2010 гг. показали высокую сходимость результатов ($r = 65$; P

Значения индекса TRIX в прибрежных водах Черного моря

Год	Данные	Район	N	TR _{cp}	Std	Min	Max	Категория трофности
1988-1989	авторов	СЗЧМ	32	6,1	0,6	4,5	6,9	гипертрофные
1994-1995	авторов	СЗЧМ	42	5,9	0,5	5,1	6,7	эвтрофные
1994-2000	[14]	Варненский залив	-	5,3	1,2	2,8	7,9	эвтрофные
2002-2003	[9]	Самсун залив	60	-	>6	<6	7,7	гипертрофные
2003	авторов	Змеиный	77	5,2	0,4	4,4	5,04	эвтрофные
2004	авторов	Змеиный	88	5,2	0,4	4,4	6,3	эвтрофные
2005	авторов	Змеиный	104	4,6	0,9	3,1	6,7	мезотрофные
2006	авторов	Змеиный	136	4,8	0,8	3,0	6,6	мезотрофные
2007	авторов	Змеиный	96	5,3	0,7	3,5	6,9	эвтрофные
2008	авторов	Змеиный	88	4,9	0,7	3,1	6,6	мезотрофные
2008	[1]	Дельта Дуная	-	6,4	-	4,4	8,12	гипертрофные
2009	авторов	Змеиный	44	5,2	0,7	4,4	6,8	эвтрофные
2010	авторов	Змеиный	36	5,0	0,7	3,7	6,3	мезоэвтрофные

Примечание: N – количество определений; TR_{cp} – среднее значение TRIX; Std – стандартное отклонение; Min – минимальное значение; Max – максимальное значение.

использовать район о. Змеиный в качестве референтного для открытых вод западной части Черного моря.

Заключение

Результаты изучения долговременных изменений показателей качества и соответствующего трофического уровня морских вод Черного моря в районе о. Змеиный показали, что качество морских вод за последние 20 лет в этом районе улучшилось, о чем свидетельствует соответствующее уменьшение величины индекса TRIX. При этом установлено, что в районе острова Змеиный значения индекса TRIX значительно меньше, чем в других прибрежных районах западной части Черного моря. Этот факт позволяет нам предложить использование научно-исследовательской станции «Остров Змеиный» в качестве фоновой станции для западной части Черного моря.

Исследования проводились в рамках научно-исследовательских работ, которые финансировались Министерством образования и науки Украины и частично научным грантом проекта FP7 No. 226740 EnviroGrids (Building Capacity for a Black Sea Catchment Observation and Assessment System supporting Sustainable Development).

Благодарности

Авторы выражают благодарность персоналу научно-исследовательской станции «Остров Змеиный» Регионального центра интегрированного мониторинга Одесского национального университета им. И.И. Мечникова за проведение наблюдений на о. Змеиный, а также химикам Ирине Грузовой и Анатолию Сорокоумову за химические анализы компонентов азота и фосфора.

Литература

1. Дятлов С.Э., Нікулін В.В., Петросян А.Г. та ін. Результати еколого-токсикологічного моніторингу судового ходу Дунай - Чорне море у 2008 р. // Наук. зап. Теплоп. нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка : Сер. Біол. Гідроекологія. – 2010. – № 3 (44). – Спецвипуск. – С. 82 - 85.
2. Заика В.Е. О трофическом статусе пелагических экосистем в разных районах Черного моря // Морской экологический журнал. – 2003. – № 1, Т. II. – С. 5 - 10.
3. Медінець В.І., Газетов Є.І. Гідрологічні дослідження морських вод біля острова Зміїний // Острів Зміїний: екосистема прибережних вод / Відп. ред. В.І. Медінець. – Одес. Нац. ун-т ім. І.І. Мечникова. – Одеса: Астропринт, 2008а. – С. 51 - 77.
4. Медінець В.І., Проценко В.В. Гідрохімічні дослідження // Острів Зміїний: екосистема прибережних вод / Відп. ред. В.І. Медінець; Одес. Нац. ун-т ім. І.І. Мечникова. – Одеса: Астропринт, 2008б. – С. 78 - 101.
5. Медінець В.І., Ковальова Н.В., Конарева О.П., Медінець С.В. та ін. Гідробіологічні дослідження // Острів Зміїний: екосистема прибережних вод / Відп. ред. В.І. Медінець; Одес. Нац. ун-т ім. І.І. Мечникова. – Одеса: Астропринт, 2008с. – С. 102 - 174.
6. Медінець В.І., Ковальова Н.В., Снігирьов С.М., Грузова І.Л. Оцінка якості морських вод в районі острова Зміїний за допомогою індексу TRIX // Наук. зап. Теплоп. нац. пед. ун-ту ім. В.Гнатюка. Сер. Біол. – Гідроекологія. – 2010. – № 3 (44). – Спецвипуск. – С. 159 - 162.
7. *Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений.* – Л.: Гидрометиздат, 1980. – 190 с.
8. *Руководство по химическому анализу морских вод.* – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 218 с.
9. Baytut O., Gonulol A., Koray T. Temporal Variations of Phytoplankton in Relation to Eutrophication in Samsun Bay, Southern Black Sea. Turkish // Journal of Fisheries and Aquatic Science. – 2010. – Vol. 10. – Pp. 363 - 372.
10. BSC, *State of the Environment of the Black Sea (2001 - 2006/7)* / Edited by Temal Oguz // Publications of the Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution (BSC) 2008-3, Istanbul, Turkey. – 2008. – 448 p.
11. EEA, *Eutrophication in Europe's Coastal Waters* // Topic report. European Environment Agency, Copenhagen. – 2001. – 7/2001. – 115 p.
12. Kovalova N., Medinets S., Konareva O., Medinets V. Long-term Changes of Bacterioplankton and Chlorophyll «A» as indicators of Changes of North-Western Part of the Black Sea Ecosystem During the Last 30 Years // Journal of Environmental Protection and Ecology. – 2010. – 11, No 1. – Pp. 191 - 198.
13. Moncheva S., Doncheva V. Eutrophication index ((E) TRIX) – an operational tool for the black sea coastal water ecological quality assessment and monitoring // The Black Sea Ecological Problems : International symposium. – SCSEIO, Odessa. – 2000. – Pp. 178 - 185.
14. Moncheva S., Dontcheva V., Shtereva G., Kamburska L. at al. Application of eutrophication indices for assessment of the Bulgarian Black Sea coastal ecosystem ecological quality // Water Science and Technology. – 2002. – Vol. 46, No 8. – Pp. 19 - 28.
15. Vollenweider R.A., Giovanardi F., Montanari G., Rinaldi A. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters, with special reference to the NW Adriatic Sea // Proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. – Environmetrics. – 1998. – 9. – Pp. 329 - 357.
16. WFD, Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official Journal of the European Communities. – 2000. – L 327. – Pp. 1 - 72.