

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЯ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ НА КРЫМСКОМ ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Лямина Н.В., Лямин А.Г., Рубцова С.И.
ФГБНУ Институт природно-технических систем
ул. Ленина, 28, г. Севастополь, 299011, РФ
e-mail: BurmistrovaN@mail.ru

Аннотация. Предложена концепция нового подхода к экологической оценке в системе интегрированного управления ресурсно-экологической безопасностью прибрежной зоны Чёрного моря. Проведено исследование сезонных изменений вертикальной структуры интенсивности поля биолюминесценции (ПБ) в прибрежных водах г. Севастополя. Получены существенные отличия сезонных изменений интенсивности ПБ в поверхностном и глубинном слоях открытой акватории и объяснены причины, обуславливающие это явление. Максимальная интенсивность ПБ в поверхностном слое прибрежных вод Севастополя зарегистрирована в осенний период (сентябрь–октябрь), в глубинном слое открытой акватории моря на глубинах, расположенных ниже слоя термоклина. Интенсивность ПБ в придонном слое Севастопольской бухты в этот период примерно на один – два порядка ниже, чем в открытой акватории. Сезонные изменения интенсивности ПБ в поверхностном слое разных районов внутри мелководной Севастопольской бухты характеризуются достаточно высокой корреляционной связью ($r = 0,83$), тогда как корреляция сезонной вариабельности биолюминесценции в поверхностном слое открытой и закрытой акваторий побережья Севастополя имеет средние значения ($r = 0,56 - 0,63$). Обосновывается вывод об определяющем влиянии термохалинных параметров пелагиали на отмеченные отличия сезонных изменений интенсивности ПБ в поверхностном и глубоководном слоях неритической зоны. Исследовано изменение вертикального профиля интенсивности ПБ в ночное время в прибрежных водах Чёрного моря. Показано, что по характеру динамики биолюминесценции толщу воды можно разбить на два слоя: верхний (0 – 35 м) и заглубленный (36 – 60). Отмечены особенности изменения интенсивности ПБ в этих слоях. Определены спектральные составляющие вариабельности ПБ, вносящие основной вклад в изменения его интенсивности в тёмное время суток. Показано, что 14-часовая периодичность колебаний свечения связана с изменением астрономической освещённости, а колебания с периодами от 2,5 до 4,5 часа обусловлены эндогенными суточными ритмами биолюминесцентоов. Выявлено, что светящиеся организмы находятся в пространстве влияния нескольких биотических и абиотических факторов. Показано, что наибольшее влияние на периодичность нарастания и убывания интенсивности ПБ в тёмное время суток оказывают биотические факторы.

Ключевые слова: экосистема, планктон, сезонная и суточная изменчивость поля биолюминесценции, температура, солёность.

ANALYSIS OF THE FUNCTIONING OF MARINE ECOSYSTEMS ON CHANGING THE PARAMETERS OF THE BIOLUMINESCENCE FIELD ON THE CRIMEAN BLACK SEA SHELF

Lyamina N.V., Lyamin A.G., Rubtsova S.I.
Institute of Natural and Technical Systems
Lenina str., 28, Sevastopol, 299011, Russia
e-mail: BurmistrovaN@mail.ru

Abstract. The concept of a new approach to environmental assessment is offered in the system of integrated management of the resource and environmental safety of the coastal area of the Black Sea. The studies of the season and daily changeability in the bioluminescence field in the Sevastopol coastal waters has been conducted. For the first time considerable differences in the bioluminescence field seasonal changes in the surface and deep water layers and the reasons conditioning this phenomenon have been shown using a method of multidimensional statistical analysis. The bioluminescence field vertical profile change at the autumn period at night in the Black sea coastal waters has been studied. It has been shown that according to the character of bioluminescence parameters dynamics water column can be divided to layers: upper (0 – 35 m) and deep water (36 – 60 m). It has been revealed that life rhythms of the plankton community are the main reason of the bioluminescence field intensity variability. It has been revealed that 14-hours periodicity of the bioluminescence field is connected with changes in light and its variations with 2,5...4,5 hours are conditioned by planktons endogenous daily rhythms. And here biotic factors effect mostly periodicity of the bioluminescence field intensity increase and fall down at the dark time of the day. Abiotic factors are of less importance in circadian rhythmic of the bioluminescence field in the neritic zone.

Keywords: ecosystem, plankton, seasonal and daily changeability of the bioluminescence field, temperature, salinity.

Экологическая система, или экосистема, – основная функциональная единица в экологии, так как в нее входят организмы и неживая среда – компоненты, взаимно влияющие на свойства друг друга, и необходимые условия для поддержания жизни в той ее форме, которая существует на Земле. Под экосистемой понимается совокупность живых организмов (сообществ) и среды их обитания, образующих благодаря круговороту веществ, устойчивую систему жизни. Особое место в экологии занимают прибрежные экосистемы. В настоящее время прибрежная зона является важным объектом экологических, экономических и гидробиологических исследований ввиду своего особого геополитического значения в контексте экологически устойчивого развития

и национальной безопасности [3]. На рисунке 1. приведена блок-схема нового подхода к экологической оценке в системе интегрированного управления ресурсно-экологической безопасностью прибрежной зоны Чёрного моря.

Исследование динамики характеристик биоломинесценции водной толщи актуально для выявления общих закономерностей функционирования планктонных сообществ, а также причин, вызывающих их изменчивость во времени и пространстве [2]. Параметры биоломинесценции планктонтов могут служить чувствительным экспресс-индикатором степени их резистентности к воздействию загрязнителей и экспрессивным показателем регионального загрязнения морской среды [4].

Биоломинесцентным потенциалом называется количество световой энергии, которое может быть излучено совокупностью организмов, заключенных в определенный объем воды или распределенных на определенном участке дна при их насыщающем возбуждении внешним раздражителем. Реализацией биоломинесцентного потенциала является биоломинесцентное поле [1]. Поле биоломинесценции – суммарный световой эффект, создаваемый совокупностью морских биоломинесцентных организмов в толще воды [2, 4].

Основная роль в создании биоломинесцентного потенциала моря принадлежит планктонным организмам [4]. В Чёрном море биоломинесцентный потенциал формируется 36-мя видами водорослей Dinophyceae родов Neoceratium, Protoperidinium, Scrippsiella, Gonyaulacaceae, Noctilucaceae, Lingulodinium, а также тремя видами гребневиков, несколькими видами копепоид и двумя родами светящихся бактерий [2, 4]. На рисунке 2 представлены планктонные биоломинесцентные организмы Чёрного моря. У 30 видов Dinophyceae характеристики светоизлучения определены инструментально в условиях Чёрного моря сотрудниками отдела биофизической экологии Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского [2, 4].

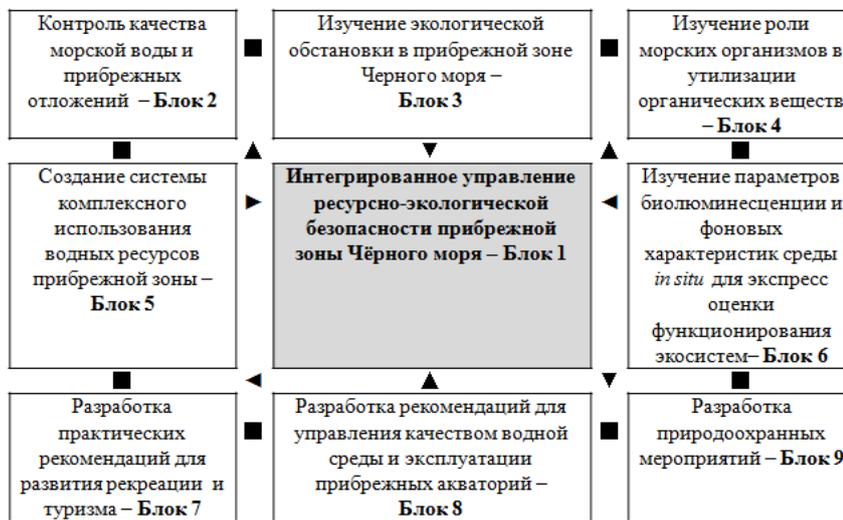


Рисунок 1 – Блок-схема нового подхода к экологической оценке в системе интегрированного управления ресурсно-экологической безопасностью прибрежной зоны Чёрного моря

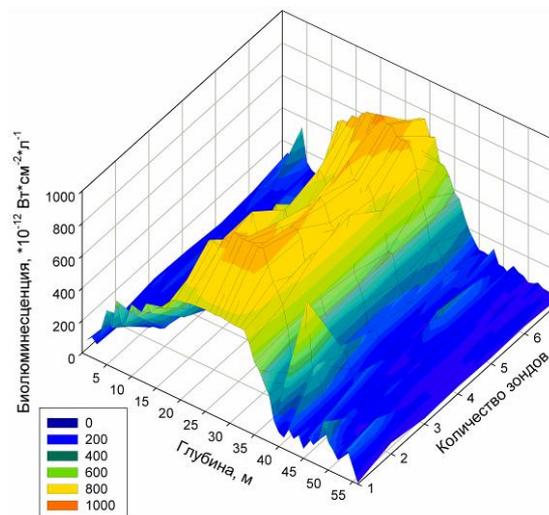


Рисунок 2 – Мелкомасштабная пространственная неоднородность поля биоломинесценции в прибрежье Севастополя (сентябрь)

Поле биолюминесценции (ПБ) в Чёрном море существует повсеместно в любое время суток при существенных региональных и сезонных различиях. На рисунке 2 показана мелкомасштабная пространственная неоднородность поля биолюминесценции в прибрежье Севастополя (сентябрь).

Проведен анализ сезонных изменений интенсивности поля биолюминесценции (ПБ). Сезонные изменения интенсивности поля биолюминесценции (ПБ) в поверхностном слое разных участков внутри Севастопольской бухты характеризуются достаточно высокой сопряжённостью, что подтверждается высоким коэффициентом парной корреляции $r = 0.83$. Сопряжённость сезонной изменчивости ПБ в поверхностном слое открытой и закрытой акваторий, напротив, характеризуется средним уровнем корреляционной связи ($r = 0.56 - 0.63$), что может свидетельствовать, в частности, о различном экологическом состоянии данных регионов (Лямина, 2014).

Сезонная изменчивость вертикальной структуры ПБ в поверхностных слоях неритической зоны, существенно отличается от таковой в глубинных слоях. Максимальная интенсивность ПБ в поверхностном слое прибрежных вод г. Севастополя зарегистрирована в осенний период (сентябре-октябре). В глубинном слое максимальная интенсивность ПБ зарегистрирована в открытой акватории моря на глубинах, расположенных ниже слоя термоклина. Интенсивность ПБ в придонном слое Севастопольской бухты в этот период примерно на один – два порядка ниже, чем в открытой акватории.

Для открытой акватории (ст. № 1, траверз б. Круглая) после анализа и статистической обработки данных была получена корреляционная связь в верхнем 10-ти метровом слое между интенсивностью поля биолюминесценции и температурой (коэффициент корреляции $r = -0,61$), а также корреляционная связь между интенсивностью поля биолюминесценции и солёностью ($r = 0,60$). В слое 20 – 30 м зарегистрирована корреляционная связь между интенсивностью поля биолюминесценции и температурой ($r = 0,60$), интенсивностью поля биолюминесценции и солёностью ($r = -0,56$). В слое 30 – 40 м нами также вычислена корреляционная связь между интенсивностью поля биолюминесценции и температурой ($r = 0,65$), и между интенсивностью поля биолюминесценции и солёностью ($r = -0,62$).

Методом кластерного анализа в тёмное время суток в неритической зоне Чёрного моря выявлено два слоя с различной динамикой интенсивности поля биолюминесценции [3].

В диапазоне глубин 0-35 м поле биолюминесценции характеризуется резкими нарастаниями (в 19 ч, 23-24 ч, 3 часа) и спадами (в 20 ч, 1 ч и 5-6 часов) интенсивности [3].

Методами факторного анализа показано, что изменения интенсивности ПБ в тёмное время суток могут быть описаны тремя факторами, объясняющими 96,3% общей дисперсии ПБ. Показано, что основными факторами, определяющими вариабельность ПБ в тёмное время суток, являются интенсивность деления клеток светящегося фитопланктона и выедание его зоопланктонными организмами (см. рис. 3-4) [3]. Выделены гармонические составляющие изменения интенсивности ПБ в тёмное время суток в прибрежных водах и рассчитаны их амплитудно-фазовые характеристики. Показано, что 14-часовая периодичность колебаний свечения биолюминесцентное связана с изменением освещённости, а колебания с периодами от 2,5 до 4,5 часа обусловлены эндогенными суточными ритмами этологического характера [3].

Суточная динамика параметров ПБ в Чёрном море свидетельствует о преобладающем вкладе в её вариабельность биотических факторов (83,7 %), вклад абиотических факторов составляет 12,6 % [3].

Проведен анализ суточной изменчивости интенсивности поля биолюминесценции в прибрежном и глубоководных районах западной части Чёрного моря в один осенний гидрологический сезон. В основу работы были положены материалы исследований, выполненных в 67-м (ст. 92,19–20 октября 2010), 68-м (ст. 45, 11-12 ноября 2012 года) научных экспедициях на НИС «Профессор Водяницкий» и в 116 рейсе (ст. 32 14-15 октября 1998 года) НИС «Академик Ковалевский» (см. рис. 5-6). Отмечена схожесть характера распределения температуры и солёности на этих станциях. При этом, ночные измерения биолюминесценции на станции 32 превышают дневные в 111 раз, на ст. 45 в 56, а на станции 92 в 19 раз [3].

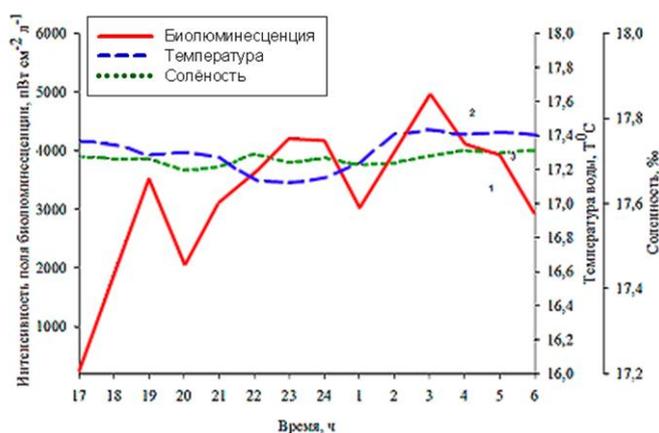


Рисунок 3 – Изменение интенсивности поля биолюминесценции (1), температуры (2) и солёности (3) в верхнем 35 метровом слое воды

Время, ч	Фитопланктон	Мезопланктон	Макропланктон		Рыбы
			Ктенофоры	Медузы	
17					<i>Trachurus mediterraneus ponticus</i> ; <i>Eugraulis encrasicolus ponticus</i> (Шульман, 1963; Виноградов, 1981)
18	размножение клеток <i>Dinophyceae</i> (Ланская, 1967)				<i>T. mediterraneus</i> ; <i>E. encrasicolus</i> (Шульман, 1963; Виноградов, 1981)
19	<i>Dinophyceae</i> (Ланская, 1967)				<i>T. mediterraneus</i> ; <i>E. encrasicolus</i> (Шульман, 1963; Виноградов, 1981)
20		<i>Paracalanus parvus</i> (Claus, 1863) (Делало, 1961)		<i>Aurelia aurita</i> Linnaeus, 1758 (Алиевский, 2010)	<i>T. mediterraneus</i> ; <i>E. encrasicolus</i> (Шульман, 1963; Виноградов, 1981)
21		<i>P. parvus</i> (Делало, 1961)		<i>A. aurita</i> (Алиевский, 2010)	<i>T. mediterraneus</i> ; <i>E. encrasicolus</i> (Шульман, 1963; Виноградов, 1981)
22	<i>Dinophyceae</i> (Ланская, 1967; Столбова, Ведерников, Микаэлян, 1982; Ковалев, 1991)			<i>A. aurita</i> (Алиевский, 2010)	<i>T. mediterraneus</i> ; <i>E. encrasicolus</i> (Шульман, 1963; Виноградов, 1981)
23	<i>Dinophyceae</i> (Ланская, 1967; Столбова, Ведерников, Микаэлян, 1982; Ковалев, 1991)			<i>A. aurita</i> (Алиевский, 2010)	
24	<i>Dinophyceae</i> (Ланская, 1967; Столбова, Ведерников, Микаэлян, 1982; Ковалев, 1991)		<i>Mnemiopsis leidyi</i> A. Agassiz, 1865; <i>Pleurobrachia pileus</i> Muller, 1776 <i>Beroe ovata</i> Mayer, 1912; (Сергеева и др., 1990; Фисенко и др., 1995; Малукова и др., 2012)	<i>A. aurita</i> (Алиевский, 2010)	
1		<i>Acartia (Acartiura) clausi</i> Giesbrecht, 1889; * <i>Paracartia</i> <i>latisetosa</i> Kritchagin, 1873 (Пиотковский, Петина, 1975; Петина, 1981) (Губанова, Алтухов, 2009)	<i>M. leidyi</i> ; <i>P. pileus</i> ; <i>B.</i> <i>ovata</i> ; (Сергеева и др., 1990; Фисенко и др., 1995; Малукова и др., 2012)		
2		<i>A. clausi</i> ; * <i>P. latisetosa</i> (Пиотковский, Петина, 1975; Петина, 1981) (Губанова, Алтухов, 2009)			
3	<i>Dinophyceae</i> (Столбова, Ведерников, Микаэлян, 1982; Ковалев, 1991)				
4	<i>Dinophyceae</i> (Столбова, Ведерников, Микаэлян, 1982; Ковалев, 1991)				
5		<i>Penilia avirostris</i> (Dana, 1852) (Павлова, Сорочкин, 1970)			<i>T. mediterraneus</i> ; <i>E. encrasicolus</i> (Шульман, 1963; Виноградов, 1981)
6		<i>P. avirostris</i> (Павлова, Сорочкин, 1970)			<i>T. mediterraneus</i> ; <i>E. encrasicolus</i> (Шульман, 1963; Виноградов, 1981)

Рисунок 4 – Анализ функционирования морской экосистемы по изменению параметров поля биолуминесценции

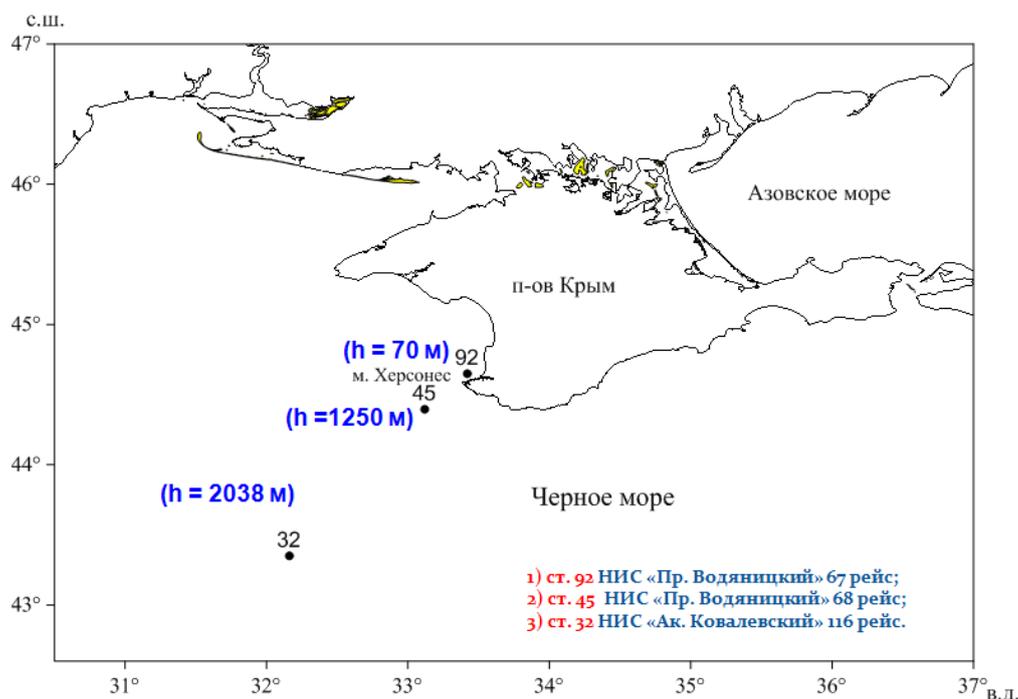
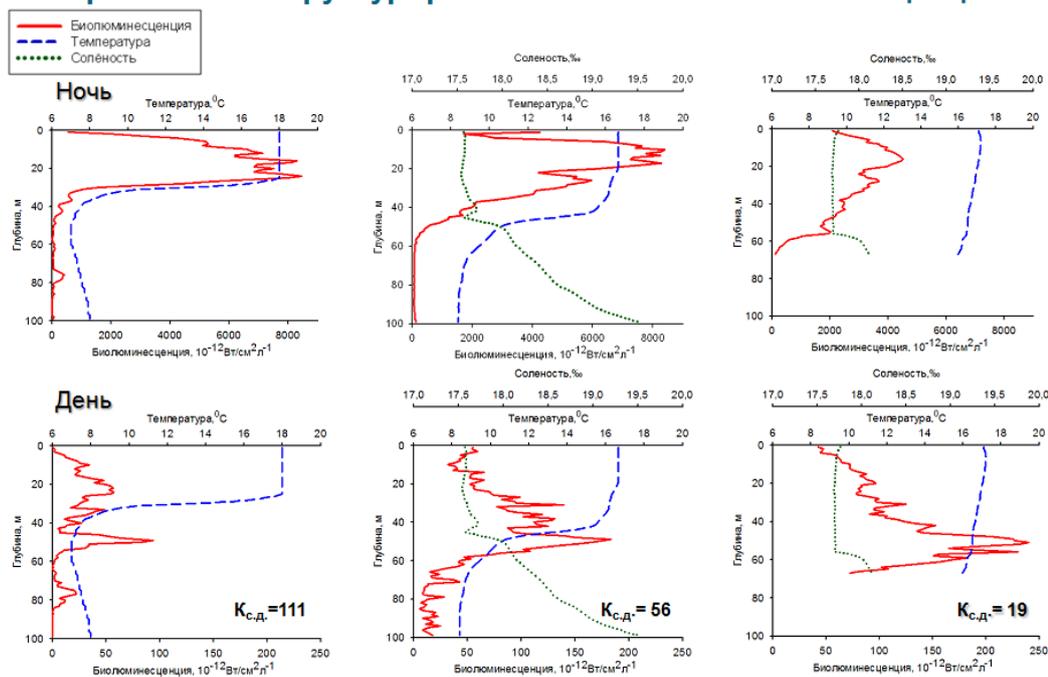


Рисунок 5 – Схема района исследования

Вертикальная структурированность поля биolumинесценции



ст. 32 НИС «Ак. Ковалевский» 116 рейс. ст. 45 НИС «Пр. Водяницкий» 68 рейс ст. 92 НИС «Пр. Водяницкий» 67 рейс

Рисунок 6 – Суточная изменчивость интенсивности поля биolumинесценции в прибрежном и глубоководных районах западной части Чёрного моря в один осенний гидрологический сезон

Прогноз развития экосистемы прибрежной зоны моря, защита ее от неблагоприятных природных и антропогенных процессов являются важнейшими задачами при освоении побережья. Выполнение данной работы позволит реализовать комплексный подход к решению проблем использования прибрежных зон Крыма и наметить пути к развитию приоритетных направлений прибрежного менеджмента в РФ и приблизить их к Международному уровню.

Список литературы / References:

1. Гительзон И.И., Левин Л.А., Шевырнов А.П. [и др.] Биolumинесцентное поле океана. Тезисы IV Международного конгресса "Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине", www.biophys.ru/archive/congress2006/abs-p109.pdf. [Gitelzon I.I., Levin L.A., Shevyrnogov A.P. [et al.] Bioluminescent field of ocean. Abstracts of the IV International Congress "The weak and ultraweak fields and radiation in biology and medicine", www.biophys.ru/archive/congress2006/abs-p109.pdf (In Russ.)]
2. Лямина Н.В. Динамика параметров поля биolumинесценции в Чёрном море и их сопряжённость с факторами среды : дис. на соискание учёной степени канд. биол. наук : спец. 03.02.10 «гидробиология». Севастополь, 2014, 133 с. [Lyamina N.V. Dynamics of the bioluminescence field parameters in the Black Sea and their correlation with environment factors: Ph.D. thesis in Biological Science: spec. 03.02.10 "Hydrobiology". Sevastopol, 2014, 133 p. (In Russ.)]
3. Рубцова С.И. Экологические аспекты интегрированного управления прибрежной зоной Крыма. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013, 200 с. [Rubtsova S.I. Environmental aspects of the integrated management of the coastal zone of Crimea, Sevastopol: ECOSI-Hydrophysics, 2013, 200 p. (In Russ.)]
4. Токарев Ю.Н. Основы биофизической экологии гидробионтов. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006, 342 с. [Tokarev Yu.N. Fundamentals of biophysical ecology of aquatic organisms. Sevastopol: ECOSI-Hydrophysics, 2006, 342 p. (In Russ.)]