

УДК 581.526.325:551.58(262.5)

*И. М. Серикова<sup>1</sup>, Ю. В. Брянцева<sup>2</sup>, Ю. Н. Токарев<sup>1</sup>,  
С. В. Станичный<sup>3</sup>, В. В. Суслин<sup>3</sup>, В. И. Василенко<sup>1</sup>*

**ОТКЛИК ФИТОПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖЬЕ  
СЕВАСТОПОЛЯ НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ  
ОСОБЕННОСТИ 2009—2012 гг.**

По данным биофизического мониторинга и спутниковых наблюдений в прибрежье г. Севастополя с января 2009 г. по сентябрь 2012 г. проанализирована сезонная и межгодовая динамика развития фитопланктона и продуцируемого им поля биолюминесценции, а также изменчивость поля температуры и солёности в поверхностном и верхнем 60-метровом слое. Показано, что аномалии (отклонения от среднего уровня) температурного режима поверхности моря приводят к перестройкам в таксономической структуре фитопланктона и модификации сезонной изменчивости вертикальной структуры поля биолюминесценции

***Ключевые слова:** поле биолюминесценции, динофитовые водоросли, температура поверхности моря, термохалинная структура.*

Поле биолюминесценции (ПБ) в Черном море в наибольшей степени формируется скоплениями светящихся динофлагеллят [2], которые, наряду с другими микроводорослями, являются важным компонентом морских экосистем.

Используемый для регистрации ПБ методом многократных батифотометрических зондирований приборный комплекс «Сальпа» [9] позволяет одновременно отслеживать термохалинную структуру вод. Его применение совместно с традиционными методами исследований (отбор проб планктона) повышает уровень и качество оценки состояния экосистем.

В связи с установленным фактом потепления верхнего слоя Черного моря на 1—2°C за последние десятилетия [1, 5, 6], особенно важной является оценка отклика биотических систем на эти климатические изменения.

Целью исследований было: изучить сезонную и межгодовую динамику структуры и интегральных характеристик ПБ наряду с количественными и качественными характеристиками фитопланктона в связи с изменчивостью гидрологических полей и климатическими изменениями.

© И. М. Серикова, Ю. В. Брянцева, Ю. Н. Токарев, С. В. Станичный,  
В. В. Суслин, В. И. Василенко, 2015

**Материал и методика исследований.** На стандартной станции (44°38' с. ш.; 33°27' в. д.), расположенной в двух милях от берега напротив бух. Круглой регистрировали ПБ, температуру и соленость с помощью зондирующего комплекса «Сальпа-М». Методика сбора и обработки информации подробно описана ранее [9]. В результате обработки сигналов датчиков получали профили биолюминесценции, температуры и солености. По этим параметрам также рассчитывали профили условной плотности воды, с осредненными показаниями по глубине через каждый метр в диапазоне глубин от 0 до 60 м. Работы выполняли в ночное время суток, соответствующее максимальному уровню развития ПБ.

Одновременно пятилитровым батометром отбирали пробы фитопланктона с приповерхностного горизонта (приблизительно 0,2 м), а также с горизонта, соответствующего максимуму биолюминесценции. Для обработки использовали традиционную методику обратной фильтрации. В зависимости от размеров клеток, подсчитывали их количество в камерах объемом 0,1 мл (мелкие) и 0,37 мл (крупные и редкие, 1—3 порции). Для расчета объема и площади поверхности клеток использовали формулы из работы [4], а для видов со сложной формой клеток — методику трехмерного моделирования [11]. С помощью программы «Планктон» рассчитывали основные показатели развития фитопланктона: численность, биомассу, объем клеток, видовое богатство [3].

Для анализа использовали данные спутниковых наблюдений (с двух спутников — Aqua и Terra) температуры поверхности моря (ТПМ) в районе исследований за четырехлетний период. Данные объединяли в один массив, по которому рассчитывали средние значения ТПМ для каждого месяца и их ошибки. Для каждого месяца составляли временной ряд ТПМ из четырех членов  $T(t)$  ( $t$  изменяется с 2009 до 2012 г.), по которым рассчитывали средние значения ТПМ и средние квадратичные отклонения для межгодового уровня изменчивости (СКО<sub>МЕЖ</sub>), а затем среднее значение СКО<sub>МЕЖ</sub> для 12 месяцев года. Для исследования сезонной изменчивости (СКО<sub>СЕЗ</sub>) был составлен временной ряд ТПМ из 48 членов  $T(t)$  с дискретностью 1 мес. По этому ряду по интервалу 12 месяцев рассчитывали среднюю ТПМ и средние квадратичные отклонения СКО<sub>СЕЗ</sub> для сезонного уровня изменчивости.

### Результаты исследований

Вертикальная структура ПБ, отражающая распределение скоплений представителей класса Dinophyceae, зависит от термохалинной структуры вод, обусловленной, в свою очередь, сезонами года. В годичном цикле было выделено, соответственно, четыре сезонных типа, с определенным комплексом светящихся динофлагеллят [7, 8].

Первый (зимний) тип характеризовался преобладанием видов с максимальным объемом клеток, благодаря чему возрастала их суммарная биомасса, несмотря на минимальную численность. Это виды рода *Ceratium*: *C. fusus* Ehrenb., *C. tripos* Ehrenb. и *C. furca* Ehrenb., а также представители рода *Protoperidinium*: *P. divergens* (Ehrenb.) Balech, *P. crassipes* (Kof.) Balech, *P. palli-*

*dum* (Ostenf.) Balech, *P. depressum* (Bailey) Balech и *P. oblongum* (Auriv.) Parke & J.D. Dodge.

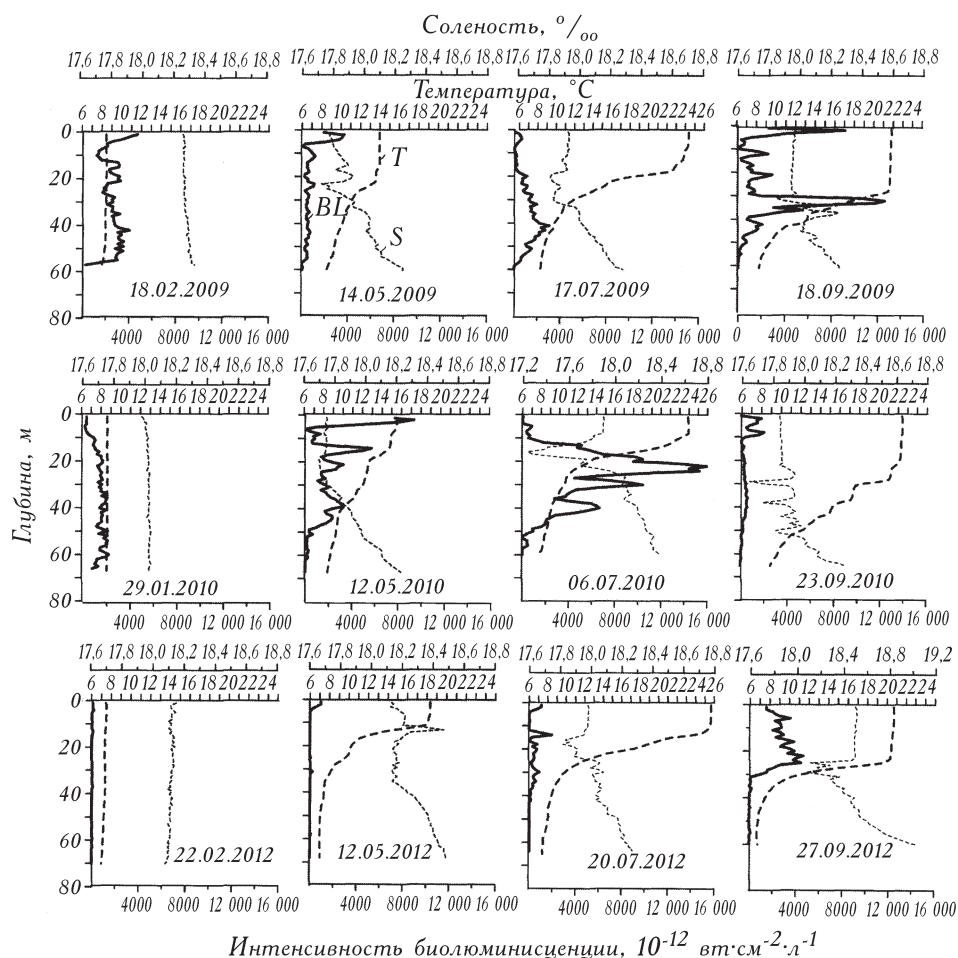
На январь — февраль приходится минимум видового богатства как светящихся, так и не светящихся динофлагеллят, при этом ПБ характеризуется равномерным распределением слоев повышенной светимости по глубине. Подобная структура может сохраняться до конца апреля (рис. 1).

Второй тип характеризует весенний период. С началом прогрева вод интенсифицируется развитие мелкоклеточных видов светящихся Dinophyceae — р. *Gonyaulax*, а также виды *Scrippsiella trochoidea* (F. Stein) Balech ex A.R. Loeblich III и *Lingulodinium polyedrum* (F. Stein) J.D. Dodge, вначале у поверхности и затем, по мере расширения верхнего квазигоризонтального слоя (ВКС) — по всей его протяженности. В мае достигается максимум видового богатства и количественного развития светящихся водорослей и, соответственно, регистрируется максимальная интенсивность ПБ в ВКС. При этом средний объем клеток светящихся водорослей снижается до минимума в году.

В термоклине и нижележащих слоях средняя интенсивность биолюминесценции слабее, чем в ВКС. Такая структура поля биолюминесценции типична для мая и может сохраняться до конца июня (см. рис. 1).

«Вспышка» численности этих видов приводит к увеличению суммарной биомассы, особенно выраженному в 2010 г., когда наблюдали абсолютный за четыре года максимум биомассы и, соответственно, интенсивности ПБ. По сравнению с предшествующими годами, 2012 г. отличался резким снижением биолюминесценции во всем 60-метровом слое в зимне-весенний период: она была примерно на порядок ниже средней в предшествующие годы. Динамика развития вертикальной структуры ПБ во всей толще также изменилась. Так, только в апреле 2012 г. интенсивность ПБ возросла и почти достигла уровня предшествующих лет, однако слои биолюминесценции сформировались не в верхнем прогревом слое, а под термоклином. Отмечалось также резкое снижение уровня развития светящихся динофлагеллят у поверхности, как по видовому богатству, так и по обилию. Если в 2010 г. было найдено девять видов, суммарная биомасса которых достигала 114,22 мг/м<sup>3</sup>, то в 2012 г. светящийся фитопланктон был представлен лишь видом — *S. trochoidea*, с биомассой до 0,85 мг/м<sup>3</sup>. Доминировали представители Bacillariophyceae, и в массе развивалась *Emiliana huxleyi* (Lohmann) W.W. Hay & Mohler (Prymnesiophyceae). В апреле 2012 г. биомасса диатомовых в 25 раз превышала биомассу динофлагеллят, тогда как в 2010 г. такое соотношение составляло 0,24, а в 2011 г. — 18,7.

В мае 2012 г. уровень развития светящихся динофлагеллят был также ниже, чем в предшествующие годы. В то же время, водоросль *E. huxleyi* достигла максимального развития: 159,6 мг/м<sup>3</sup> — по биомассе и — 722 млн. кл/м<sup>3</sup> — по численности. Если в предшествующие годы на май приходился пик развития биолюминесценции в ВКС, то в 2012 г. она была на порядок ниже, причем регистрировался только один слабый максимум в верхнем пятиметровом слое (см. рис. 1).



1. Характерные профили биолюминесценции (BL), температуры (T) и солёности (S) в разные сезоны 2009, 2010 и 2012 гг.

В июле наступает период летней стагнации в развитии фитопланктона в ВКС, характерный для третьего типа. ПБ ослабевает в ВКС, но в термоклине и нижележащих слоях существенно возрастает. В пробах, взятых с нижних горизонтов, присутствуют крупноклеточные светящиеся виды, характерные для зимнего периода. Плотность воды на этих горизонтах совпадает с плотностью воды у поверхности в зимний сезон.

Эффект заглубления максимума биолюминесценции под термоклин наблюдался на протяжении трех лет и описан нами ранее [7, 8]. При этом по крайней мере для двух месяцев — июля и августа (а также для июня в 2009 и 2010 г.) сохранялось соотношение:  $BL_{\text{ВКС}}/BL_{(0-60)} < 1$ ;  $BL_{\text{ТЕРМ}}/BL_{(0-60)} > 1$ , где  $BL_{\text{ВКС}}$ ,  $BL_{\text{ТЕРМ}}$  — средняя интенсивность ПБ в ВКС и в слое термоклина;  $BL_{(0-60)}$  — в слое 0-60 м. В 2012 г. такое соотношение было нарушено как в июне, так и в июле (для августа нет данных измерений). Таким образом, не

зафиксировано преимущественного развития поля биолюминесценции под термоклином в летний период, что отличало этот год от предшествующих лет.

«Размывание» сезонного термоклина в осенний сезон обуславливает приток биогенов в верхние слои, и наступает четвертый период в развитии фитопланктона, когда ПБ в ВКС может достигать максимальных величин в годичном цикле. Это может быть обусловлено как интенсивным развитием мелкоклеточных форм, например *L. polyedrum* (как в октябре 2009 г.), так и обилием относительно более крупных клеток.

Уже в сентябре 2012 г. ПБ приняло типичную для осеннего периода структуру, когда слои биолюминесценции локализуются преимущественно в ВКС (см. рис. 1). При этом была зарегистрирована максимальная за год интенсивность свечения во всем 60-метровом слое.

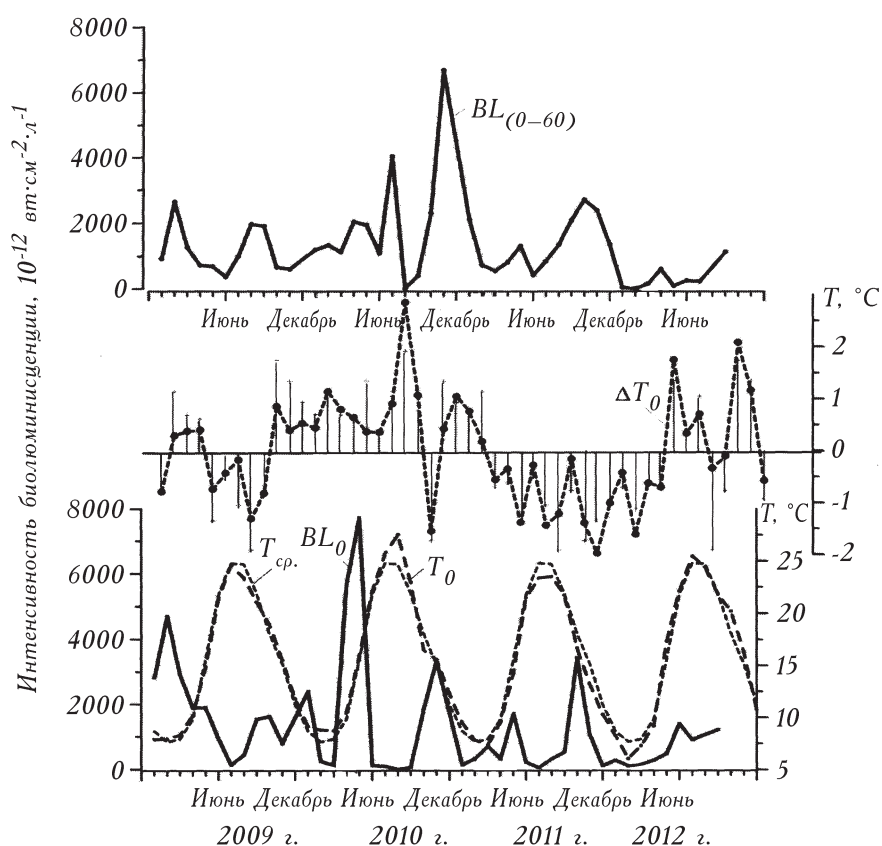
Сопоставление сезонного хода средних значений ПБ в приповерхностном слое ( $BL_0$ ) со среднемесячной ТПМ ( $T_0$ ) показало, что максимумы их в приповерхностном слое приходятся на весенний и осенний периоды (рис. 2).

Сезонная динамика средних значений ПБ во всем слое ( $BL_{(0-60)}$ ) более сложная из-за ее перераспределения в летний период, когда максимумы биолюминесценции локализуются под ВКС.

Синхронное развитие в приповерхностном слое ПБ и биомассы светящихся динофлагеллят в весенний и осенний периоды подтверждается оценками автокорреляционных функций соответствующих параметров, по которым выделяются одинаковые периоды, составляющие шесть месяцев (рис. 3).

Сравнение среднегодовых значений ПБ в слое 0—60 м показало, что в 2010 г. они в 2 раза превышали уровень 2009 г. и в 1,5 раза — 2011 г. Наблюдалось два пика биолюминесценции, в мае и ноябре, в 4—5 раз превосходящие средний уровень. В то же время в августе 2010 г. биолюминесценция снизилась до нижнего предела за весь период наблюдений. Таким образом, 2010 г. отличался не только максимальными величинами ПБ, но и максимальной дисперсией их колебаний.

Минимальные среднегодовые значения биолюминесценции в слое 0—60 м наблюдались в 2012 г. (в 3,5—4,0 раза ниже, чем в предыдущие годы). При этом примерно в два раза возросла ее изменчивость. Коэффициенты вариации для отдельных лет, начиная с 2009 г., соответственно составили:  $C_{BL} = 0,58, 0,78, 0,54, 1,18$ . Кроме того, в 2012 г. Изменился характер вертикальной структуры ПБ. Если в предшествующие годы в весенний период развитие динофитовых водорослей (и, соответственно, ПБ) интенсифицировалось в верхнем прогревом слое, то в апреле 2012 г. интенсивное вегетирование диатомей в приповерхностном слое привело к снижению уровня развития здесь динофлагеллят. В результате их скопления отмечались преимущественно под термоклином.

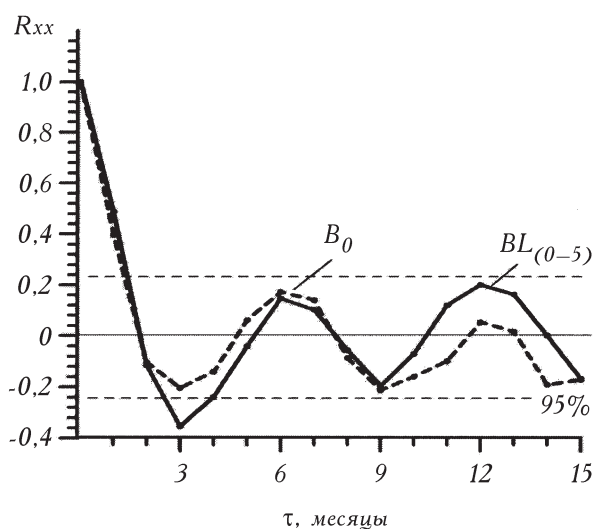


2. Временная изменчивость средней интенсивности биолюминесценции в приповерхностном слое 0—1 м ( $BL_0$ ), в слое 0—60 м ( $BL_{(0-60)}$ ), среднемесячной температуры поверхности моря ( $T_0$ ), усредненных среднемесячных величин температуры поверхности моря за четырехлетний период ( $T_{cp}$ ), отклонений фактических показателей температуры поверхности моря от усредненных величин ( $T$ ).

В июне 2012 г. вертикальная структура ПБ не отличалась от таковой в предшествующие годы. Слои максимальной биолюминесценции регистрировались как в ВКС, так и под термоклином. Таким образом, весенний пик биолюминесценции, и соответственно, динофлагеллят в ВКС, сдвинулся на июнь.

### Обсуждение результатов исследований

Для выявления причин аномального развития структуры ПБ и, соответственно, количественного распределения динофитовых водорослей в 2010 и 2012 гг. привлекались данные спутниковых измерений температуры поверхности моря в районе исследований. На рисунке 4 сплошной линией показана усредненная за четыре года кривая изменчивости ТПМ, а реальные среднемесячные значения ТПМ изображены гистограммой, пунктирной линией отмечены их доверительные интервалы.



3. Оценки автокорреляционных функций ( $R_{xx}$ ) временной изменчивости интенсивности биоломинесценции в слое 0—5 м ( $BL_{(0-5)}$ ) и биомассы светящихся динофлагеллят в приповерхностном горизонте ( $B_0$ ). Пунктиром обозначен 95%-ный доверительный интервал; ф — временной сдвиг.

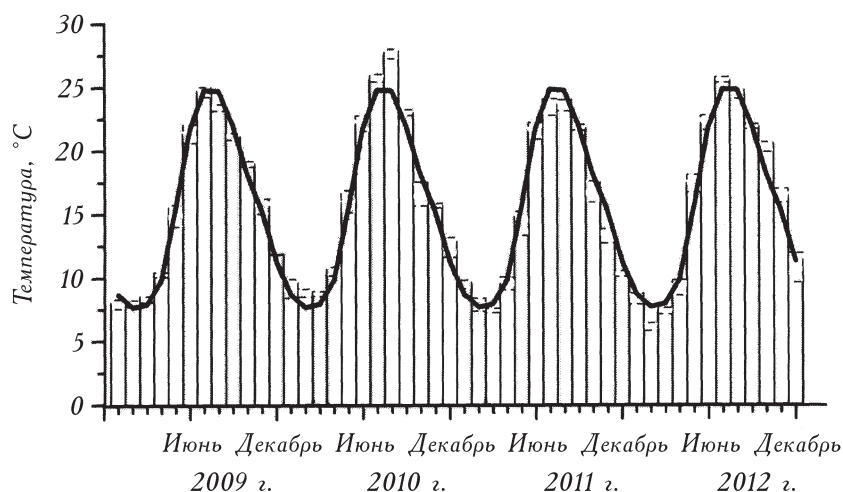
По отклонениям гистограммы от усредненной кривой ТПМ можно выделить два года с аномальными значениями ТПМ. Так, в 2010 г. среднемесячные значения ТПМ были выше нормы как в зимний, так и в летний период. В зимние месяцы 2012 г. наблюдались аномально низкие значения ТПМ. Сильное выхолаживание верхнего слоя воды произошло в феврале 2012 г., когда среднемесячная ТПМ упала до 6°С. В то же время в мае 2012 г. среднемесячная ТПМ достигла 17,4°С, превысив

средний за предшествующие годы уровень почти на 2°, а в июле практически достигла уровня самого жаркого 2010 г. (рис. 4). Таким образом, в 2012 г. величины ТПМ отличались наибольшей сезонной изменчивостью.

Как было показано ранее [1], за предшествующий 17-летний период — с 1986 по 2002 г. — акватория у берегов г. Севастополя характеризовалась невысокой сезонной изменчивостью ТПМ ( $СКО_{СЕЗ} < 6,5^\circ$ ). Рассчитанные величины сезонной изменчивости ТПМ за 2009 и 2011 гг. ( $СКО_{СЕЗ} = 6,3^\circ$  и  $6,2^\circ$ ) удовлетворяют этому отношению. Однако для 2010 и 2012 гг. значения этого показателя составили соответственно 6,8° и 7,1°. По данным [1] такими показателями характеризуется северо-западный район Черного моря, с максимальными величинами у берегов г. Одессы ( $СКО_{СЕЗ} > 7,5^\circ$ ).

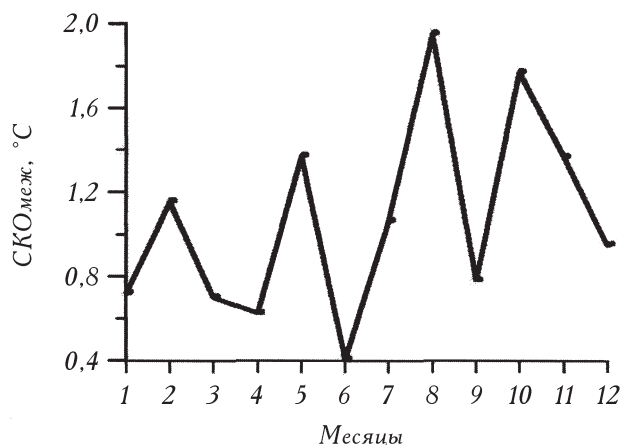
Величина межгодовой изменчивости ТПМ за четырехлетний период  $СКО_{МЕЖ} = 1,07^\circ$ , что практически совпадает с таковой за предыдущий 17-летний период в районе мониторинга ( $СКО_{МЕЖ} = 1,1^\circ$ ) [1]. Полученное за четыре года отношение сезонной изменчивости к межгодовой ( $СКО_{СЕЗ} / СКО_{МЕЖ}$ ) составило 6,2. По данным вышеупомянутых авторов, этот район характеризуется меньшими значениями этого отношения:  $СКО_{СЕЗ} / СКО_{МЕЖ} = 5,6$ . Таким образом, завышенное значение отношения сезонной изменчивости к межгодовой также связано с аномальными величинами  $СКО_{СЕЗ}$  в 2010 и 2012 гг.

Анализ уровня межгодовой изменчивости ТПМ за четырехлетний период для различных месяцев выявил наличие трех основных максимумов: в мае, октябре и, наибольший, в августе (рис. 5).



4. Среднемесячные величины температуры поверхности моря за четырехлетний период исследований (гистограмма) и ход усредненной кривой ее сезонной изменчивости.

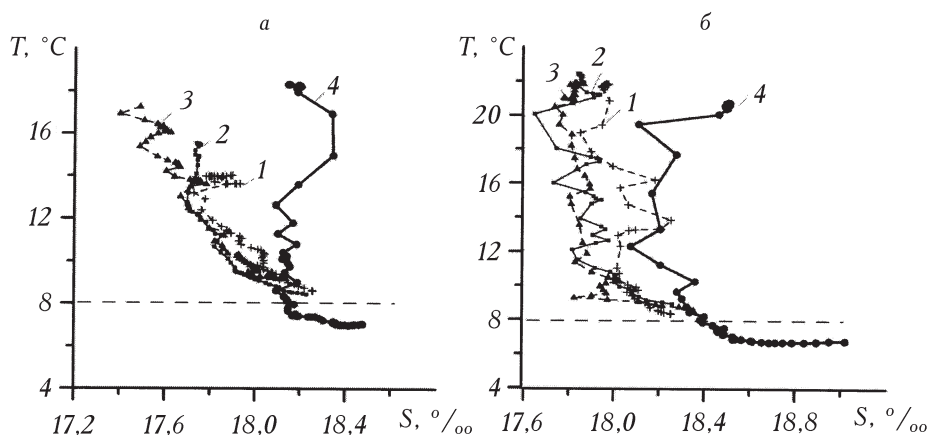
Если два первых максимума выделялись в предшествующий 17-летний период, то последний, летний, не характерен ни для одного из районов Черного моря [1]. Однако в августе 2010 г. ТПМ достигла рекордной величины, которая в среднем составила  $27,6^{\circ}\text{C}$ , что обусловило наличие третьего летнего максимума в районе исследований.



5. Межгодовая изменчивость температуры поверхности моря ( $\text{СКО}_{\text{МЕЖ}}$ ) для четырехлетнего периода по отдельным месяцам.

Для выявления отклика биоты на аномалии сезонной изменчивости ТПМ были рассчитаны отклонения среднемесячной ТПМ от усредненных величин за четырехлетний период ( $T$ ). Они оценивались путем сопоставления с доверительными интервалами, рассчитанными для усредненной кривой при  $b = 0,05$  (указаны вертикальными отрезками на рис. 2) Наиболее значительные отклонения  $T$ , превышающие доверительные интервалы, наблюдались в августе 2010 г. (в сторону превышения среднего уровня), а также в зимний период с ноября 2011 по февраль 2012 г. (в сторону снижения) и в мае 2012 г. (в сторону превышения). Зарегистрированная в августе 2010 г. и январе —





6. *T-S*-структура вод в мае (а) и сентябре (б): 1 — 2009 г.; 2 — 2010 г.; 3 — 2011 г.; 4 — 2012 г.

феврале и мае 2012 г. биолюминесценция была минимальной во всем слое 0—60 м, что не являлось характерным для этих периодов года (см. рис. 2).

Максимальная величина отклонения от средней ТПМ за четырехлетний период  $T = 3^\circ$  была зарегистрирована в августе 2010 г., при этом наблюдался самый низкий уровень развития динофитовых водорослей и абсолютный минимум биолюминесценции в верхнем 60-метровом слое. Аномально высокая температура у поверхности и в ВКС способствовала развитию термоклина с резким градиентом ( $dT/dZ = 1,4$  град/м), блокирующим обменные процессы между слоями. Летняя стагнация фитопланктона, обычная для этого времени года в ВКС, захватила и нижние слои, в результате чего ПБ практически отсутствовало во всем диапазоне глубин. Резкое снижение развития динофлагеллят под ВКС в августе, вероятно, связано также с биологическими причинами — естественным «затуханием» после мощной «вспышки» в июле, вследствие истощения питательных веществ и выедания зоопланктоном.

В целом, наиболее теплый 2010 г. характеризовался максимально высокими количественными показателями развития водорослей, а также средних значений ПБ [8]. Следует отметить, что практически в течение всего года, за исключением октября, наблюдались положительные отклонения ТПМ от среднего уровня.

В 2012 г. отрицательные аномалии в зимний период, когда ТПМ достигла нижнего предела за весь период исследований, сменились положительными аномалиями в апреле и мае (см. рис. 2). С середины мая обозначился резкий термоклин ( $dT/dZ = 0,8$  град/м) в слое 10—20 м за счет быстрого прогрева вод в ВКС до  $18,3^\circ\text{C}$ , в то же время на 30-метровой глубине температура составляла около  $8^\circ\text{C}$ . *T-S*-структура вод в мае 2012 г. отличается от таковой в предшествующие годы (рис. 6, а).

По сравнению с предшествующими годами, во всем диапазоне глубин выделяются воды с повышенной соленостью, а под термоклином в слое 30—60 м температура воды опустилась ниже 8°C. Холодные и соленые воды под термоклином отслеживаются на *T-S*-диаграммах вплоть до сентября 2012 г. (рис. 6, б). Это свидетельствует о сильном выхолаживании верхнего 60-метрового слоя и глубоком перемешивании вод в зимние месяцы 2012 г., в результате которого произошло интенсивное обогащение верхнего слоя биогенными элементами, что, в свою очередь, вызвало «вспышку» развития *E. huxleyi*, которая достигла максимальной за исследованный период численности, а цвет моря приобрел молочный оттенок, что было зарегистрировано с помощью космических спутников [10]. Кроме того, резко возросла численность диатомовых водорослей, что привело к снижению уровня развития динофитовых. Таким образом, перестройка в структуре сообщества микроводорослей привела к снижению характеристик поля биолюминесценции и изменению его вертикальной структуры.

### Заключение

Выявлены особенности сезонной динамики светящихся динофлагеллят, которые определяли сезонную изменчивость интенсивности ПБ. Показано, что интенсификация развития указанных параметров в приповерхностном слое происходят синхронно в весенний и осенний периоды. По оценкам автокорреляционных функций соответствующих параметров выделяются периоды, равные шести месяцам.

По спутниковым наблюдениям ТПМ за четыре года в районе мониторинга выделены периоды с экстремальной сезонной изменчивостью, нетипичной для данного района. В эти периоды наблюдались аномальная биолюминесценция во всем 60-метровом слое и отклонения в сезонной динамике обилия динофитовых водорослей. При максимальной сезонной изменчивости ТПМ ( $СКО_{СЕЗ} = 7,1^\circ$ ), которая наблюдалась в 2012 г. за счет сильного выхолаживания поверхностного слоя в зимний период 2012 г. и интенсивного прогрева в весенне-летний, произошла перестройка в структуре сообщества микроводорослей, приведшая к резкому уменьшению параметров ПБ и нарушениям его структуры.

Изменчивость ТПМ выше среднего уровня ( $СКО_{СЕЗ} = 6,8^\circ$ ) также отмечена в 2010 г. за счет возникшей в августе аномалии. Повышенный температурный фон всего года способствовал интенсивному развитию светящихся динофлагеллят и ингибированию других микроводорослей (золотистых и диатомовых). Это выразилось в максимально высоком уровне интенсивности ПБ, за исключением августа, когда она снизилась до абсолютного минимума. При этом наблюдалась максимальная за четыре года аномалия ТПМ, достигшая  $3^\circ$ .

Таким образом, биофизический мониторинг позволяет оперативно получать информацию об особенностях пространственно-временной изменчивости фитопланктона - важнейшего компонента морских экосистем. Количественные зависимости между биомассой светящихся динофлагеллят и интенсивности ПБ [8] позволяют предложить биофизические характеристики среды в качестве индикатора состояния фитопланктона и экосистемы в целом.

\*\*

За даними біофізичного моніторингу та супутникових спостережень в прибережжі м. Севастополя з січня 2009 р. по вересень 2012 р. проаналізовано сезонну і міжрічну динаміку розвитку угруповання фітопланктону та поля біоломінесценції, що продукується ним, а також мінливість полів температури і солоності у поверхневому та 60-метровому шарах води. Показано, що аномалії (відхилення від середнього рівня) температурного режиму поверхні моря призводять до перебудов у таксономічній структурі угруповання фітопланктону, а також до модифікації сезонної мінливості вертикальної структури поля біоломінесценції.

\*\*

*According to the biophysical monitoring data and satellite observations in the Sevastopol coastal zone since January of 2009 till September of 2012 seasonal and interannual changeability of the phytoplankton community development and the bioluminescence field produced by the community as well as temperature and salinity fields changeability in the surface and 60-meter layers are analyzed. It is shown that abnormalities (deviation from the average level) of the sea surface temperature regime lead to the reconstruction in the phytoplankton community taxonomical structure and modification of seasonal changeability of the bioluminescence field vertical structure.*

\*\*

1. Артамонов Ю.В., Бабий М.В., Скрипалева Е.А. Региональные особенности межгодовой изменчивости поля температуры на поверхности океана // Системы контроля окружающей среды. — Севастополь, 2005. — С. 240—242.
2. Битюков Э.П., Евстигнеев П.В., Токарев Ю.Н. Светящиеся Dinoflagellata Черного моря и влияние на них антропогенных факторов // Гидробиол. журн. — 1993. — Т. 29, № 4. — С. 27—34.
3. Брянцева Ю.В., Лях А.М., Силаков М.И., Георгиева Е.Ю. Использование новых методик обработки данных по фитопланктону при проведении биофизического мониторинга // Риб. госп-во України. — 2009.— 4 (63). — С. 26—27.
4. Брянцева Ю.В., Сергеева А.В., Лях А. М. Расчет объемов и площадей поверхности одноклеточных водорослей Черного моря. — Севастополь, 2005. — 25 с. — (Препр. / НАН Украины. Институт биологии южных морей).
5. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Шеремет Н.А. Об использовании спутниковых данных в исследовании сезонной и межгодовой изменчивости температуры поверхности Черного моря // Исследование Земли из космоса. — 2001. — № 1. — С. 51—61.
6. Ловенкова Е.А., Полонский А.Б. Климатические характеристики апвеллинга у побережья Крыма и их изменчивость // Метеорология и гидрология. — 2005. — № 5. — С. 44—52.
7. Серикова И.М., Брянцева Ю.В., Токарев Ю.Н. и др. Особенности сезонной динамики поля биоломінесценции и биомассы светящихся динофлагеллят у Севастополя (2008 — 2009 гг.) // Наук. зап. Терноп. пед. ун-ту.

- Сер. Біологія. Спец. вип.: Гідроекологія. — 2010. — № 3 (44). — С. 230—234.
8. Серикова И.М., Брянцева Ю.В., Василенко В.И. Особенности сезонной динамики структуры поля биолюминесценции и ее сопряженность с параметрами динофитовых водорослей // Мор. экол. журн. — 2013. — Т. 12, № 3. — С. 66—72.
  9. Токарев Ю.Н., Василенко В.И., Жук В.Ф. Новый гидробиофизический комплекс для экспрессной оценки состояния прибрежных экосистем // Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XI Междунар. науч.-техн. конф., 25—27 нояб. 2009 г., Москва. — М.: Изд-во РАН, 2009. — Ч. 3. — С. 23—27.
  10. Ясакова О.Н., Станичный С.В. Аномальное цветение *Emiliana huxleyi* (Prymnesiophyceae) в Черном море в 2012 г. // Мор. экол. журн. — 2012. — Т. 11, № 4. — С. 54.
  11. Lyakh A.M. The free-form deformation of phytoplankton modes // Lecture Notes I Computer Science. — 2002. — Vol. 2331, part 3. — P. 194—201.

<sup>1</sup> Институт биологии южных морей,  
Севастополь

<sup>2</sup> Институт ботаники НАН Украины, Киев

<sup>3</sup> Морской гидрофизический институт,  
Севастополь

Поступила 05.03.15