

О.В. Кривенко¹, А.В. Пархоменко¹, Т.Я. Чурилова¹,
З.З. Финенко¹, В.В. Суслин²

¹ *Институт биологии южных морей НАН Украины, г. Севастополь*

² *Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь*

РЕАНАЛИЗ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ИЗМЕНЕНИЯ БИОМАССЫ ФИТОПЛАНКТОНА В ОТКРЫТОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАТУРНЫХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Анализ рядов данных многолетних натуральных (за период 1948 – 2001 гг.) и спутниковых (в период с 1998 по 2010 гг.) наблюдений показал, что устойчивые однонаправленные тренды изменения биомассы фитопланктона в глубоководной области Черного моря с начала 1950-х гг. и до настоящего времени отсутствуют. Долговременная динамика биомассы фитопланктона характеризуется волнообразными колебаниями с цикличностью десять – одиннадцать лет, связанными с изменением климатических условий. Катастрофические изменения трофической структуры планктонного сообщества конца 1980-х – начала 1990-х, которые совпали с климатической цикличностью, обусловили экстремально высокие значения биомассы фитопланктона в период 1985 – 1995 гг.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *биомасса фитопланктона, хлорофилл-«а», спутниковые наблюдения, Черное море.*

Введение. Планктонные водоросли, продукция которых лежит в основе функционирования всей пелагической пищевой цепи, обладают высокой скоростью воспроизводства и, быстро реагируя на изменения в экосистеме, могут служить чувствительным индикатором действия на нее различных факторов. Поэтому важнейшей составляющей определения тенденций развития морских экосистем является оценка долговременных изменений биомассы фитопланктона. Регулярные измерения численности и биомассы планктонных водорослей в Черном море были начаты в 40-е годы прошлого века. На протяжении последующих десятилетий усовершенствование процедуры концентрирования фитопланктона, его фиксации и техники микрокопирования позволило существенно улучшить точность количественного учета водорослей. К настоящему времени накоплен обширный материал по пространственной и временной изменчивости биомассы фитопланктона в Черном море.

Однако существенным ограничением стандартного метода оценки биомассы фитопланктона является его трудоемкость и невозможность обеспечения регулярности наблюдений, которая соответствовала бы пространственной и временной изменчивости этого параметра. Использование спутниковой информации дает уникальную возможность оценки показателей продуктивности с высоким разрешением во времени и пространстве, которое практически невозможно получить в рамках традиционных исследований в морских экспедициях. Разработанный на настоящий момент региональный алгоритм обработки спутниковой информации позволяет корректно трансформиро-

вать продукты второго уровня цветового сканера *SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* – прибор для наблюдения цветковых полей) в величины концентрации хлорофилла-«а», который является основным фотосинтетически активным пигментом микроводорослей [1]. Цель настоящего исследования заключалась в оценке временной изменчивости биомассы фитопланктона в глубоководной области Черном море на основе анализа рядов данных многолетних наблюдений биомассы фитопланктона, полученных стандартными методами учета водорослей и данных спутниковой информации.

Материал и методы. Для анализа результатов натуральных наблюдений биомассы фитопланктона в глубоководной области Черного моря, выделенной по положению 200-м изобаты, использовали материалы междисциплинарного банка данных «*Black Sea Database supplied with Ocean Base 3.07 DBMS*» [2], дополненные литературными данными [3 – 11], всего 530 станций за период с 1948 г. по 2001 г.

Расчеты проводили на основе интегральных величин биомассы фитопланктона (выраженной в единицах сырой массы, г·м⁻²) в слое 0 – 50 м, где концентрировалась подавляющая часть микроводорослей. В дальнейшем для краткости мы будем называть этот слой зоной фотосинтеза на основании того, что распределение фотосинтетических процессов по вертикали тесно связано с изменением биомассы продуцентов, при этом понимая условность такого допущения в строгом смысле термина «эвфотический слой».

При выборе масштаба пространственного осреднения исходили из его минимально возможного значения, с учетом естественной вариабельности биомассы фитопланктона и обеспеченности данными наблюдений [12]. Все имеющиеся данные для глубоководной области моря были сгруппированы по 1° × 1° квадратам простой географической сетки. Для каждого 1° × 1° *j*-го квадрата, где имелось 10 и более определений, были рассчитаны среднемноголетние ($\overline{B_j}$) и среднемесячные ($\overline{B_{ij}}$) значения биомассы фитопланктона для каждого *i*-го месяца, а также среднеквадратические отклонения параметров ($\sigma \overline{B_j}$ и $\sigma \overline{B_{ij}}$).

При анализе сезонной изменчивости биомассы использовали нормированные среднемесячные значения биомассы фитопланктона в зоне фотосинтеза, рассчитанные по формуле:

$$B_{ij}^{\sigma} = (\overline{B_{ij}} - \overline{B_j}) / \sigma \overline{B_j} , \quad (1)$$

где $\overline{B_{ij}}$ – среднемесячные для каждого *i*-го месяца и *j*-го квадрата значения биомассы; $\overline{B_j}$ и $\sigma \overline{B_j}$ – соответственно, среднемноголетнее значение этого показателя, и его стандартное отклонение в *j*-м квадрате.

Межгодовую изменчивость биомассы фитопланктона оценивали по отклонению величин биомассы фитопланктона (B_{ij}) от соответствующих среднемесячных значений (для каждого *i*-го месяца и *j*-го квадрата) по формуле:

$$\delta B_{ij} = B_{ij} - \overline{B_{ij}} . \quad (2)$$

Далее значения аномалий биомассы фитопланктона в зоне фотосинтеза относительно годового хода (δB_{ij}) усредняли по годам за период с 1948 г. по 2001 г. Величины стандартного отклонения по полученным временным рядам $\sigma(\delta B_{ij})$ использовали в качестве меры межгодовой вариабельности биомассы фитопланктона в Черном море.

Для обработки спутниковой информации использовали региональный алгоритм, позволяющий корректно рассчитывать величины концентрации хлорофилла-«а» [1]. На основе этого алгоритма рассчитывали содержание хлорофилла-«а» в поверхностном слое с двухнедельной частотой по времени. Полученные значения концентрации хлорофилла-«а» в поверхностном слое использовали для расчета биомассы фитопланктона, который выполняли по региональному алгоритму [13]. Этот алгоритм базируется на восстановлении вертикального профиля распределения хлорофилла-«а» и его отношения к органическому углероду (Хл/С) с учетом влияния основных факторов среды – световых условий, биогенной обеспеченности и температуры [14]. Как было показано, основной вклад в изменение отношения Хл/С по глубине вносит ослабление света. Поэтому расчеты биомассы фитопланктона в зоне фотосинтеза для теплого периода года выполнялись исходя из эмпирически полученной зависимости влияния оптической глубины на изменение отношения Хл/С по вертикали. Для холодного периода, в условиях глубокого перемешивания вод, использовали постоянное отношение Хл/С равное 0,25, полученное на основе осреднения имеющихся измерений для этого времени года [13].

Временную динамику фитопланктона оценивали по интегральным значениям его биомассы в верхнем 50 м слое моря в центре западной глубоководной области Черного моря (в среднем для района с координатами 30,85° – 31,65° в.д.; 42,92° – 43,50° с.ш.) в период с 1998 г. по 2010 г.

Результаты и обсуждение. Обобщение данных натурных наблюдений за период 1948 – 2001 гг. показало, что среднеголетние значения биомассы фитопланктона варьируют по акватории глубоководной области Черного моря в интервале 10 – 30 г·м⁻², достигая максимальных величин в центральных областях западной и восточной половины моря. Внутригодовые колебания этого показателя в основном составляют 80 – 100 % от среднегодовых величин и значительно увеличиваются (в 2 – 3 раза) в юго-восточной области моря. Сезонная динамика биомассы фитопланктона в северной половине моря в целом описывается *U*-образной кривой. Четко выраженный максимум проявляется в феврале-марте, продолжительный минимум соответствует теплому периоду года. Значимое увеличение биомассы в глубоководной области наблюдается в октябре-ноябре. В южной половине моря *U*-образный характер сезонного хода нарушается за счет пика нормированных значений биомассы в июне, который превышает аналогичные показатели для холодного периода года, и может объясняться массовым развитием кокколитофорид в начале лета [12, 15].

Начиная с 2000 г. комплексные экспедиции по изучению продукционных характеристик вод в глубоководной области Черного моря проводились

крайне редко. На протяжении последнего десятилетия основным источником информации о динамике структурных и функциональных показателей фитопланктона в открытых районах моря является спутниковая информация.

Обработка данных спутниковых наблюдений с использованием регионального алгоритма [1] позволила корректно оценивать динамику концентрации хлорофилла-«а» в поверхностном слое практически по всей акватории моря с разрешением 4×4 км по пространству и двухнедельной частотой по времени. На основе этих данных, в соответствии с алгоритмом восстановления вертикального профиля распределения пигмента [13], был выполнен анализ сезонной и межгодовой динамики интегрального содержания хлорофилла-«а» в зоне фотосинтеза для периода с 1998 г. по 2007 г. [14]. Как показали результаты расчетов, в глубоководной части моря сезонные изменения хлорофилла-«а» имеют одинаковый характер и повторяются из года в год – начиная с сентября-октября, концентрация хлорофилла непрерывно повышается и плавно переходит в зимне-весенний максимум. Межгодовые различия наблюдаются в продолжительности периода с относительно высоким содержанием хлорофилла и в амплитуде сезонных колебаний хлорофилла-«а». В зависимости от температуры и атмосферных условий (облачности в зимний период) максимум в годовом цикле содержания хлорофилла-«а» в поверхностном слое может отмечаться либо в январе-феврале, либо в марте-апреле. В период с 1998 г. по 2007 г. интенсивное «цветение» фитопланктона отмечалось в холодные зимы 1998, 2003 и 2004 гг., когда происходило выхолаживание поверхностных вод до $6,5 - 8,0$ °С. В годы с теплыми зимами, когда температура поверхностного слоя вод не опускалась ниже $8 - 8,5$ °С, максимальные значения хлорофилла-«а» в январе-феврале были в 2 – 5 раз ниже, чем в годы с холодными зимами. Зимне-весенний период высоких концентраций хлорофилла продолжался от 1,5 до 3 месяцев, после чего содержание хлорофилла-«а» постепенно снижалось, достигая минимальных значений к концу лета.

Полученные на основе спутниковой информации данные по содержанию хлорофилла-«а» были использованы для оценки долговременной динамики биомассы фитопланктона в верхнем 50 м слое моря в центре западной глубоководной области Черного моря в период с 1998 г. по 2010 г. (рис. 1). На протяжении рассматриваемого 12-ти летнего периода биомасса фитопланктона, рассчитанная по спутниковым данным, однотипно варьировала на протяжении года от 15 ± 2 г·м⁻² в июле-августе до 25 ± 8 г·м⁻² в декабре-марте. Значительное увеличение биомассы фитопланктона до ~ 50 г·м⁻² на протяжении от 2-х недель до 1,5 месяцев отмечалось в феврале-марте 1998, 2003, 2004 и 2009 гг., а так же в декабре 2001 г. Биомассы фитопланктона в летний период варьировала в узком диапазоне значений от 12 до 17 г·м⁻², за исключением июня 2001 г., когда величина этого показателя достигала 20 г·м⁻². Такое увеличение наблюдалось на фоне аномально высокого развития гребневика *Beroe ovata* в 2001 г. [16] и существенного повышения концентрации растворенного органического вещества в воде [17].

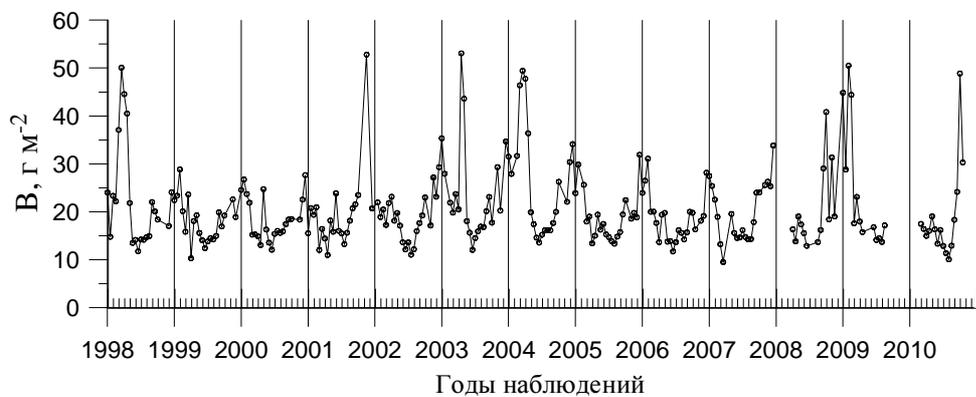


Рис. 1. Многолетняя динамика биомассы фитопланктона в зоне фотосинтеза в центре западной глубоководной области Черного моря (по спутниковым данным).

Среднемноголетнее значение биомассы $21 \pm 8 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$, рассчитанное по всему временному ряду, хорошо согласуется с данными натурных наблюдений, которые показали, что величина аналогичного показателя в центральной части западной половины моря для периода с 1950 г. по 1998 г. составляет $24 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$.

Сопоставление сезонного хода нормированных среднемесячных значений биомассы (1) фитопланктона (рис. 2), рассчитанного по данным натурных наблюдений (см. рис. 2, кривая 1) и по спутниковой информации (см. рис. 2, кривая 2) также указывает на хорошее соответствие рассматриваемых рядов.

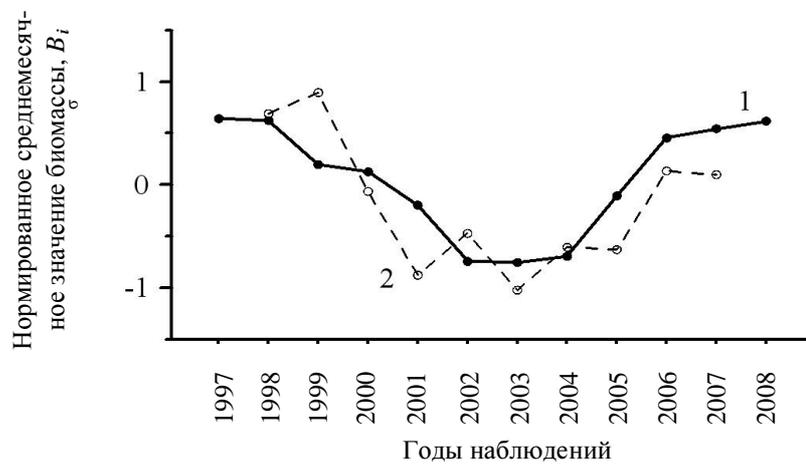


Рис. 2. Сезонный ход нормированных среднемесячных значений биомассы фитопланктона в зоне фотосинтеза в центре западной глубоководной области в среднем за период 1997 – 2007 гг., рассчитанный по спутниковым данным (1) и по данным натурных наблюдений (2).

Различия нормированных среднемесячных значений биомасс фитопланктона в зимний и летний периоды для обоих рядов превышает 1σ , поэтому 1,7 кратное различие приведенных выше среднезимних и среднелетних величин можно считать достоверным.

В условиях высокой естественной variability биомассы фитопланктона, неоднородность распределения данных наблюдений в пространстве и во времени может существенно отразиться на результатах осреднения. Поэтому при анализе данных натуральных измерений межгодовая изменчивость биомассы фитопланктона рассматривалась по величинам ее отклонения от соответствующих среднемесячных значений (δB_{ij}). Временные ряды δB_{ij} , полученные для отдельных квадратов не позволили проанализировать долговременные тренды показателя, в силу слабой обеспеченности данными наблюдений. В связи с этим, данные были усреднены по трем областям – северной (квадраты севернее параллели 44° с.ш.), центральной (квадраты между параллелями 43° и 44° с.ш.) и южной (квадраты южнее параллели 44° с.ш.). Сравнение полученных временных рядов не показало существенных отличий ни по характеру межгодовых колебаний, ни по величине стандартного отклонения $\sigma(\delta B_i)$, значение которого варьировало в пределах 9 – 10 г·м⁻². Поэтому, в дальнейших расчетах использовали осреднение рядов δB_i по всей открытой части моря. Среднеквадратическое отклонение межгодовых аномалий $\sigma(\delta B_i)$ для всей глубоководной области моря составило 11 г·м⁻².

Межгодовая динамика аномалий биомассы фитопланктона в период с 1948 г. по 2000 г. (рис. 3, кривая 1) была сопоставлена с долговременными изменениями аномалий средне-зимней (декабрь-март) температуры поверхностного слоя вод открытой части Черного моря [18]. Сравнение двух кривых свидетельствует о наличии сходных периодов колебаний многолетнего хода δB_i и температуры. От начала наблюдений и до 1984 г. в изменчивости аномалий годового хода биомассы фитопланктона выраженный тренд отсутствует, доминирующими являются примерно десятилетние волнообразные колебания, вероятно, связанные с циклическими изменениями климатических условий.

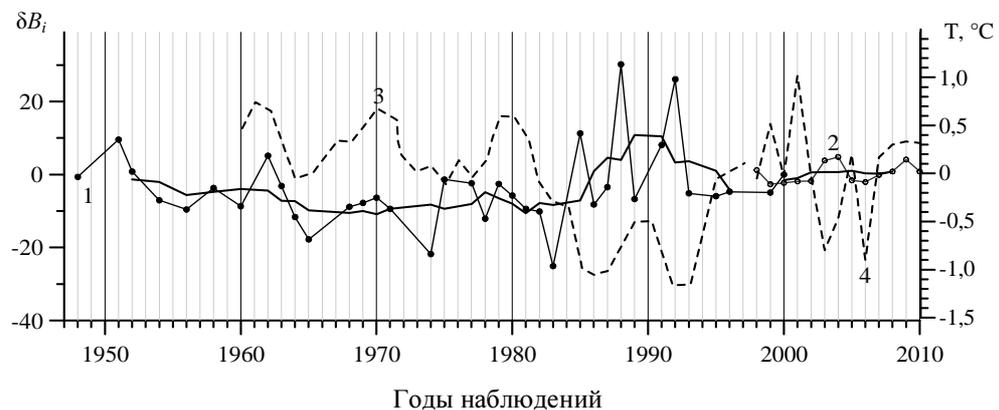


Рис. 3. Аномалии годового хода биомассы фитопланктона в глубоководной области Черного моря по данным многолетних натуральных определений в период с 1948 г. по 2001 г. (1) и в центре западной части моря по данным спутниковых наблюдений с 1997 г. по 2010 г. (2). Показаны линии тренда для рядов межгодовых аномалий, полученные методом скользящей средней с окном осреднения 5 лет. Аномалии средnezимней температуры поверхностного слоя вод в целом для открытой части моря (3) по [18] и в центре западной половины моря (4) по данным спутниковых наблюдений в период 1997 – 2010 гг.

После 1984 г. резко увеличиваются как значения δB_i , так и степень межгодовой вариабельности биомассы фитопланктона. В среднем для периода 1985 – 1994 гг. $\sigma(\delta B_i)$ составляет $15 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$. Исходя из имеющихся в литературе представлений, прирост биомассы фитопланктона в этот период может объясняться, с одной стороны, особенностями климатических условий [19], а с другой, резким изменением структуры планктонного сообщества [20].

Как следует из данных, приведенных на рис. 3, средне зимняя температура поверхностного слоя для периода 1985 – 1994 гг. была на градус ниже ее среднемноголетнего значения ($+8,4^\circ\text{C}$). Учитывая, что восьмиградусная изотерма ограничивает обогащенный биогенными элементами холодный промежуточный слой (ХПС), охлаждение поверхностных вод до 8°C и ниже означает активное вовлечение вод ХПС в процессы зимнего конвективного перемешивания и, соответственно, увеличение потока минеральных солей в зону фотосинтеза. Синтезированное на этой основе органическое вещество ведет к дополнительному накоплению биомассы фитопланктона в зимне-весенний период.

В теплый период года биомасса водорослей в открытых районах моря контролируется, главным образом, процессами его выедания зоопланктоном [19]. Поэтому, изменения в структуре планктонного сообщества, наблюдавшиеся в Черном море во второй половине 1980-х – начале 1990 гг., могли играть ключевую роль в динамике биомассы фитопланктона именно в летний период. Механизм воздействия этих изменений на структурные и функциональные характеристики фитопланктонного сообщества подробно описан в статье В.И. Ведерникова и А.Б. Демидова [20]. Основным фактором прироста биомассы фитопланктона в летний период в начале 1990-х, по мнению авторов этой работы, является снижение пресса фитофагов на фитопланктон. Массовое развитие гребневика *Mnemiopsis leidyi*, которое наблюдалось, начиная с середины 1980-х гг., и достигало максимального уровня в 1992 г. [21, 22], что способствовало интенсивному выеданию гребневиком мелкого и крупного мезозoopланктона и, как следствие, привело к значительному снижению биомассы мезозoopланктона [21, 23]. На этом фоне, уровень выедания мезозoopланктоном фитопланктона закономерно уменьшался. При этом скорость регенерации неорганических соединений азота и фосфора планктонным сообществом, за счет огромной биомассы желетельных организмов, практически не изменялась [24, 25]. В комплексе это способствовало дополнительному приросту биомассы фитопланктона в летний период.

После 1994 г. процессы конвективного перемешивания вод в зимний период ослабевают, о чем может свидетельствовать повышение средне зимней температуры поверхностного слоя вод до $8,6^\circ\text{C}$ (см. рис. 3). В это же время экосистема открытой части моря начинает восстанавливаться после последствий массового развития гребневика *M. leidyi*, биомасса которого уменьшается [26], тогда как биомасса мезозoopланктона постепенно увеличивается [27], показатели развития фитопланктона снижаются [19]. Таким образом, изменение гидрологических условий определяло ослабление восходящего потока биогенных элементов зимой, а изменение структуры планктонного сообщества способствовало постепенному увеличению биомассы мезозoopланктона и, как следствие, возрастанию пресса фитофагов на фитопланктон, что привело к снижению биомассы в летний период. Так как оба эти процесса отрицательно влияют на накопление биомассы фитопланктона, то ее снижение во второй половине 1990-х, представляется закономерным [20].

Долговременный ряд аномалий годового хода биомассы фитопланктона в глубоководной области моря во второй половине XX века был дополнен динамикой этого показателя в центре западной части глубоководной области моря, рассчитанного по спутниковым данным для периода с 1998 г. по 2010 г. (см. рис. 3, кривая 2). Для данного периода характерна незначительная межгодовая вариабельность аномалий биомассы фитопланктона, которая согласуется со слабой изменчивостью аналогичного показателя, рассчитанного по данным натурных измерений с 1994 г. по 2001 г. Для обоих рядов $\sigma(\delta B_i)$ составляет около $3 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$. В центре западной части Черного моря по данным спутниковых наблюдений четко выраженная зависимость между температурой поверхностного слоя вод в зимний период и накоплением биомассы фитопланктона не прослеживается. Существенное снижение средне зимней температуры привело к увеличению на 30 % средне зимних и среднегодовых значений биомассы только в 2003 – 2004 гг.

Заключение. Анализ рядов данных многолетних натурных (за период 1948 – 2001 гг.) и спутниковых (в период с 1998 по 2010 гг.) наблюдений показал, что устойчивые однонаправленные тренды изменения биомассы фитопланктона в глубоководной области Черного моря с начала 1950-х гг. и до настоящего времени отсутствуют. Долговременная динамика биомассы фитопланктона характеризуется волнообразными колебаниями с цикличностью десять – одиннадцать лет, связанными с изменением климатических условий. Катастрофические изменения трофической структуры планктонного сообщества конца 1980-х – начала 1990-х, которые совпали с климатической цикличностью, обусловили экстремально высокие значения биомассы фитопланктона в период 1985 – 1995 гг. Используемый алгоритм расчета биомассы фитопланктона по спутниковым данным дает корректную оценку величин биомассы фитопланктона в зоне фотосинтеза, адекватно описывает характер ее сезонной и межгодовой изменчивости. Его применение в практике мониторинга Черного моря позволит проводить экспрессную оценку запасов фитопланктона с высоким пространственным и временным разрешением; оценить влияние факторов естественной и антропогенной природы на изменение продукционных характеристик; давать кратковременные и долговременные прогнозы продуктивности вод Черного моря.

Авторы выражают благодарность группе обработки данных о цвете океана *NASA GSFC* [28]. Работа выполнена при финансовой поддержке комиссии ЕС по проектам *ODEMM (FP7 project № 244273)*, *DEVOTES (FP7 project № 308392)*. Данная работа частично финансировалась из проекта НАН Украины «Фундаментальные проблемы оперативной океанографии» и международного украинско-российского проекта «Черное море как имитационная модель Мирового океана».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суслин В.В., Чурилова Т.Я., Сосик Х.М. Региональный алгоритм расчета концентрации хлорофилла а в Черном море по спутниковым данным SeaWiFS // Морской экологический журнал. – 2008. – Том 7, № 2. – С. 24-42.
2. Black Sea Database Black Sea Database supplied with Ocean Base 3.07 DBMS // NATO SfP-971818 ODBMS Black Sea Project. – July 15, 2003. – CD for Windows NT, 98, 2000, Me, XP.

3. *Морозова-Водяницкая Н.В.* Фитопланктон Черного моря. Ч. 2 // Тр. Севастоп. биол. станции АН СССР. – 1954. – Том 8. – С. 11-99.
4. *Морозова-Водяницкая Н.В.* Численность и биомасса фитопланктона в Черном море // ДАН АН СССР. – 1950. – Том 73, № 4. – С. 821-824.
5. *Белогорская Е.В.* Некоторые данные о распределении и количественном развитии фитопланктона в Черном море // Тр. Севаст. биол. станции АН СССР. – 1959. – Том 12. – С. 87-101.
6. *Кошевой В.В.* Количественное распределение фитопланктона в Черном море // Тр. Всесоюз. гидробил. общества. – 1960. – Том 10. – С. 197-200.
7. *Иванов А.И.* Особенности качественного состава и количественного распределения фитопланктона северо-западной части Черного моря // Тр. Всесоюз. гидробил. общества. – 1960. – Том 10. – С. 182-196.
8. *Георгиева Л.В.* Качественный состав и количественное распределение фитопланктона / В кн.: Водобмен через Босфор и его влияние на гидрологию и биологию Черного моря. – К.: Наук. думка, 1969. – С. 184-196.
9. *Ковалева Т.М.* Сезонные изменения фитопланктона в неритической зоне Черного моря в районе Севастополя // Биология моря. – 1969. – Вып. 17. – С. 18-31.
10. *Суханова И.Н., Беляева Т.В.* Видовой состав, распределение и суточные изменения фитопланктона Черного моря в октябре 1978 г. / В кн.: Экосистемы пелагиали Черного моря. – М.: Наука. – 1980. – С. 65-91.
11. *Зернова В.В., Незлин Н.П.* Сезонные изменения фитоцена северо-восточной части Черного моря / Сезонные изменения черноморского планктона. – М.: Наука, 1983. – С. 12-34.
12. *Кривенко О.В., Пархоменко А.В.* Пространственная и временная изменчивость биомассы фитопланктона в Черном море за период 1948 – 2001 гг. // Морской экологический журнал. – 2010. – Том 9, № 4. – С. 5-24.
13. *Финенко З.З., Чурилова Т.Я., Сосик Х.М.* Вертикальное распределение фотосинтетических характеристик в Черном море // Океанология. – 2004. – Том 44, № 2. – С. 222-237.
14. *Финенко З.З., Чурилова Т.Я., Суслин В.В.* Оценка биомассы фитопланктона и первичной продукции в Черном море по спутниковым данным / в кн.: Промысловые биоресурсы Черного и Азовского морей (Ред. В.Н. Еремеев, А.В. Гаевская, Г.Е. Шульман, Ю.А. Загородняя): НАН Украины, Институт биологии южных морей НАН Украины. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. – С. 220-236.
15. *Пархоменко А.В., Кривенко О.В.* Оценка биомассы фитопланктона в Черном море за период 1948 – 2001 гг. // В кн.: Промысловые биоресурсы Черного и Азовского морей (Ред. В.Н. Еремеев, А.В. Гаевская, Г.Е. Шульман, Ю.А. Загородняя): НАН Украины, Институт биологии южных морей. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. – С. 237-249.
16. *Mutlu E.* Recent distribution and size structure of gelatinous organisms in the southern Black Sea and their interactions with fish catches // Mar. Biol. – 2009. – Vol. 156. – P. 935-957.
17. *Чурилова Т.Я.* Сезонная и межгодовая вариабельность глубины зоны фотосинтеза в Черном море по модельным расчетам // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2009. – Вып.19. – С. 265-278.
18. *Oguz T., Gilbert D.* Abrupt transitions of the top-down controlled Black Sea pelagic ecosystem during 1960-2000: Evidence for regime-shifts under strong fishery exploitation and nutrient enrichment modulated by climate-induced variations // Deep-Sea Res. I. – 2007. – Vol. 54. – P. 220-242.

19. *Mikaelyan A.S.* Longtime variability in phytoplankton communities in the open Black Sea in relation to environmental changes // Sensitivity to change: Black Sea, Baltic Sea and North Sea / Ed. E.Ozsoy and A. Mikaelyan. – Dordrecht: Cluwer. – 1997. – P. 105-116.
20. *Ведерников В.И., Демидов А.Б.* Долговременная и сезонная изменчивость хлорофилла и первичной продукции в восточных районах Черного моря / В кн.: Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря (ред. А.Г. Зацепин, М.Ф. Флинт). – М.: Наука, 2002. – С. 213-234.
21. *Виноградов М.Е., Шушкина Э.А.* Временные изменения структуры зооценоа открытых районов Черного моря // Океанология. – 1992. – Том 32, № 4. – С. 709-717.
22. *Kideys A.E., Gordina A.D., Niermann U. et al.* Distribution of eggs and larvae of anchovy with respect to ambient conditions in southern Black Sea during 1993 and 1996 / Ecosystem modeling as a management tool for the Black Sea (Ed. L.I. Ivanov and T.Oguz). – Dordrecht: Cluwer. – 1998. – Vol. 1. – P. 189-198.
23. *Vinogradov M.E.* Long-term variability of the pelagic community structure in the open Black Sea // Problems of the Black Sea: Plenary rep. of Intern. conf., Sevastopol, Ukraine, Nov. 10 – 15, 1992 / МНН USA, Sevastopol. 1993. – P. 19-33.
24. *Пархоменко А.В.* Экскреция фосфора зоопланктоном в открытой части Черного моря // Морской экологический журнал. – 2005. – Том 4, № 4. – P. 17-31.
25. *Пархоменко А.В.* Численные оценки регенерационного потока азота в открытой части Черного моря // Морской экологический журнал. – 2007. – Том 6, № 2. – С. 79-90.
26. *Shiganova T. A., Kideys A. E., Gücü A. et al.* Changes in species diversity and abundance of the main components of the Black Sea pelagic community during the last decade // Ecosystem modelling as a management tool for the Black Sea. – Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 1998. – Vol. 1. – P. 171-188.
27. *Шиганова Т.А., Мусаева Э.И., Булгакова Ю.В. и др.* Гребневика вселенцы *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz) и *Beroe ovata* (Mayer 1912) и их воздействие на пелагическую экосистему северо-восточной части Черного моря // Известия РАН. Серия биол. – 2003. – № 2. – С. 225-325.
28. *Feldman G.C., McClain C.R.* Ocean Color Web, SeaWiFS Reprocessing R2009.1, NASA Goddard Space Flight Center. Eds. Kuring, N., Bailey, S. W., [Электронный ресурс]. <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/> (Последнее обращение 15.09.2012).

Материал поступил в редакцию 25.12.2012 г.

АНОТАЦІЯ Аналіз рядів даних багаторічних натурних (за період 1948 – 2001 рр.) та супутникових (за період 1998 – 2010 рр.) спостережень показав, що стійкі односпрямовані тренди зміни біомаси фітопланктону в глибоководній області Чорного моря з початку 1950-х рр. і до теперішнього часу відсутні. Довготривала динаміка біомаси фітопланктону характеризується хвилеподібними коливаннями з циклічністю десять – одинадцять років, пов'язаними зі зміною кліматичних умов. Катастрофічні зміни трофічної структури планктонного угруповання кінця 1980-х – початку 1990-х, які співпали з кліматичною циклічністю, зумовили екстремально високі значення біомаси фітопланктону в період 1985 – 1995 рр.

ABSTRACT Long term data set of in situ measurements (1948 – 2001) and satellite observations (1998 – 2010) of phytoplankton biomass have been analyzed. The stable trend of phytoplankton biomass change in deep-waters of the Black Sea has not been obtained since 1950th. Climate forcing long term dynamics of biomass with 10-11 years cycle has been revealed. Disastrous changes of trophic structure of plankton community appeared in the end-of 1980th – early 1990th, which coincided with climate cycle, result in extremely high values of phytoplankton biomass in 1985 – 1995.