

УДК 582.26:581.1

И. В. Ковалева

**МЕЖГОДОВЫЕ И СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ
КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА *a* И ПЕРВИЧНОЙ
ПРОДУКЦИИ В ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО
МОРЯ**

Обобщены данные по изменению температуры и концентрации хлорофилла в поверхностном слое глубоководной части Черного моря за период с 1978 по 2008 г. По этим параметрам, а также по изменению освещенности и физиологической активности фитопланктона восстановлен ход многолетней динамики первичной продукции. Проведен анализ среднемесячных изменений первичной продукции в теплые и холодные периоды года. Рассчитаны тренды продуктивности фитопланктона, температуры и содержания хлорофилла *a* по ежемесячным средним значениям. Достоверных трендов у исследованных параметров за 30-летний период выявлено не было. Максимальные значения концентрации хлорофилла *a* отмечены при низких температурах воды в зимне-весенний период, минимальные — в летний период.

Ключевые слова: первичная продукция, хлорофилл *a*, температура, свет, фитопланктон, эвфотический слой.

Исследования механизма связи между изменениями климатических факторов и продукцией фитопланктона, особенно за длительные периоды, необходимы для оценки и прогнозирования экологического состояния водной экосистемы. В зависимости от климатических условий происходит увеличение или уменьшение первичной продукции (*A*), смещается время и масштабы «цветения», изменяется таксономический состав фитопланктона, что, в свою очередь, предопределяет все дальнейшее развитие экосистемы. Изучение многолетней сезонной динамики *A* может помочь выявить, за счет каких факторов и в какие периоды происходят наибольшие изменения ее интенсивности.

Исследования, проведенные путем прямых измерений и спутниковых наблюдений, дают возможность анализировать многолетние изменения первичной продукции, концентрации хлорофилла, температуры и других характеристик, отражающих экологическую картину Черного моря. Динамика этих показателей в течение длительного периода позволяет провести анализ и выявить временную изменчивость ключевых факторов, влияющих на фитопланктон. Такие наблюдения в последние годы велись зарубежными исследователями для различных районов Мирового океана. Однако существ-

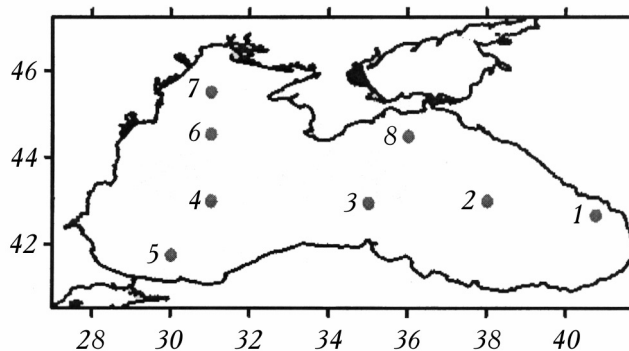
© И. В. Ковалева, 2014

вует не так много работ, анализирующих динамику продуктивности фитопланктона, концентрации хлорофилла *a* и их трендов за длительный период в Черном море [5, 8, 12, 14, 16].

Цель работы — определить тренды величин первичной продукции, концентрации хлорофилла *a* и температуры в течение 30-летнего периода — с 1978 по 2008 г. — в глубоководной части Черного моря.

Материал и методика исследований. Многолетнюю динамику первичной продукции, концентрации хлорофилла *a* и температуры восстанавливали по среднемесячным значениям за период с 1978 по 2008 г. Расчет и анализ первичной продукции проводили для теплого (выше 15°C) и холодного (ниже 15°C) сезонов. Для анализа динамики указанных характеристик использовали две базы данных: первая — полученная путем прямых измерений в рейсах 1978—1997 гг. — взята из архивов данных ИнБЮМ [15] и дополнена данными из архива Отдела экологической физиологии водорослей, вторая — по спутниковым наблюдениям SeaWiFS с 1998 по 2008 гг. (рис. 1). Расчеты проводили для глубоководной зоны Черного моря — от 200 метров и глубже. Это связано с тем, что глубоководный район более устойчив к краткосрочным изменениям климатических показателей, менее подвержен антропогенному воздействию, и потому может отражать глобальные процессы, протекающие в море. Прямые измерения отличаются большей точностью по сравнению со спутниковыми данными, однако они проводились нерегулярно и в отдельных точках моря, тогда как спутниковые наблюдения велись систематически и покрывали всю морскую поверхность в каждой координатной области, усредненной в интервале 4×4 км.

В базе данных за период 1978—1997 гг. представлено 989 измерений, которые использовали при расчете и анализе продукции, содержания хлорофилла и температуры. Из них за теплый период — 494 точки, за холодный — 393. Распределение измерений по месяцам и по годам представлено на рисунке 2. Определение концентрации хлорофилла *a* при прямых измерениях проводили преимущественно флуориметрическим методом. Для определения пигмента пробу воды объемом 0,5—1,0 дм³ фильтровали через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм или через стекловолокнистый фильтр Whatman GF/F при вакууме 0,3—0,5 атм. Пигменты экстрагировали 90%-ным уксусом в течение 18 ч, затем экстракт центрифугировали и определяли его флуоресценцию. Концентрацию хлорофилла *a* и феофитина измеряли стан-



1. Схема расположения районов Черного моря, для которых проводилось осреднение спутниковых измерений.

дартным методом по методике, описанной в работе [18]. Спутниковые наблюдения проводились с 1998 по 2008 г. на пространственной сетке $0,025^\circ$ по широте и $0,035^\circ$ по долготе с усреднением за двухнедельный период. В последующем данные из обеих баз усредняли за каждый месяц.

Для расчета и анализа A за 30-летний период использовали модель Бехренфилда и Фальковского, адаптированную для Черного моря [6]:

$$A = A_{opt}^B \cdot DL \cdot Chl_0 \cdot Z_{eu} \cdot \left[\frac{0,66125 \cdot E_0}{E_0 + 4,1} \right], \quad (1)$$

где P_{opt}^B — максимальная часовая скорость фотосинтеза, нормированная на хлорофилл, $\text{мг С} \cdot (\text{мг Хл} \cdot \text{ч})^{-1}$; DL — длительность светового дня; Chl_0 — концентрация хлорофилла в поверхностном слое, $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$; Z_{eu} — глубина эвфотической зоны, м; E_0 — количество солнечной энергии, падающей на поверхность моря, моль квантов $\cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$.

Максимальную скорость фотосинтеза вычисляли с помощью экспоненциальной функции, основанной на связи с температурой, по данным В. И. Ведерникова [2, 3], для температур с интервалом один градус от 5 до 26°C , как указано в работе [6]:

$$A_{opt}^B = \exp(0,056 \cdot T) \cdot 1,4. \quad (2)$$

Глубину эвфотической зоны определяли по степенному уравнению, выведенному эмпирически, с использованием поверхностной концентрации хлорофилла [10].

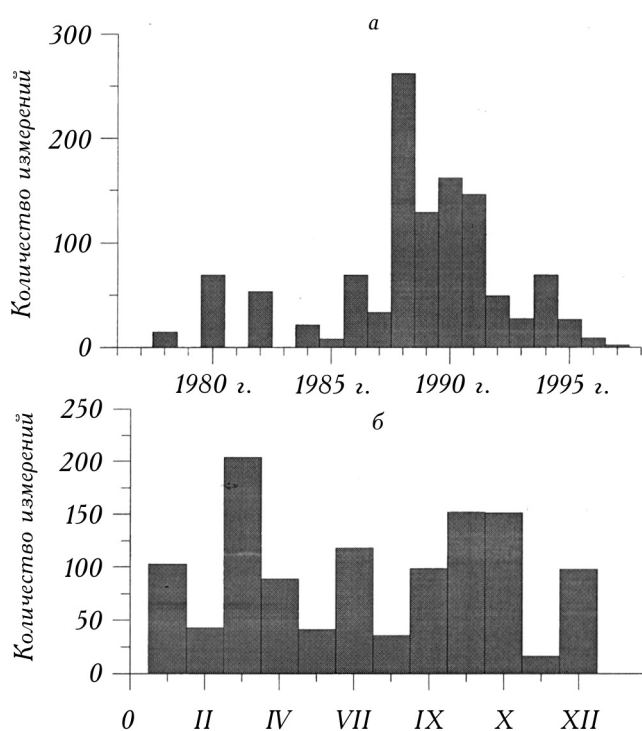
$$Z_{eu} = 23,81 \cdot Chl_0^{-0,29} \quad (3)$$

Коэффициент детерминации между поверхностным хлорофиллом и глубиной эвфотической зоны — $0,76$. Коэффициенты при уравнении для Черного моря были получены из экспериментальных данных [10].

Результаты исследований

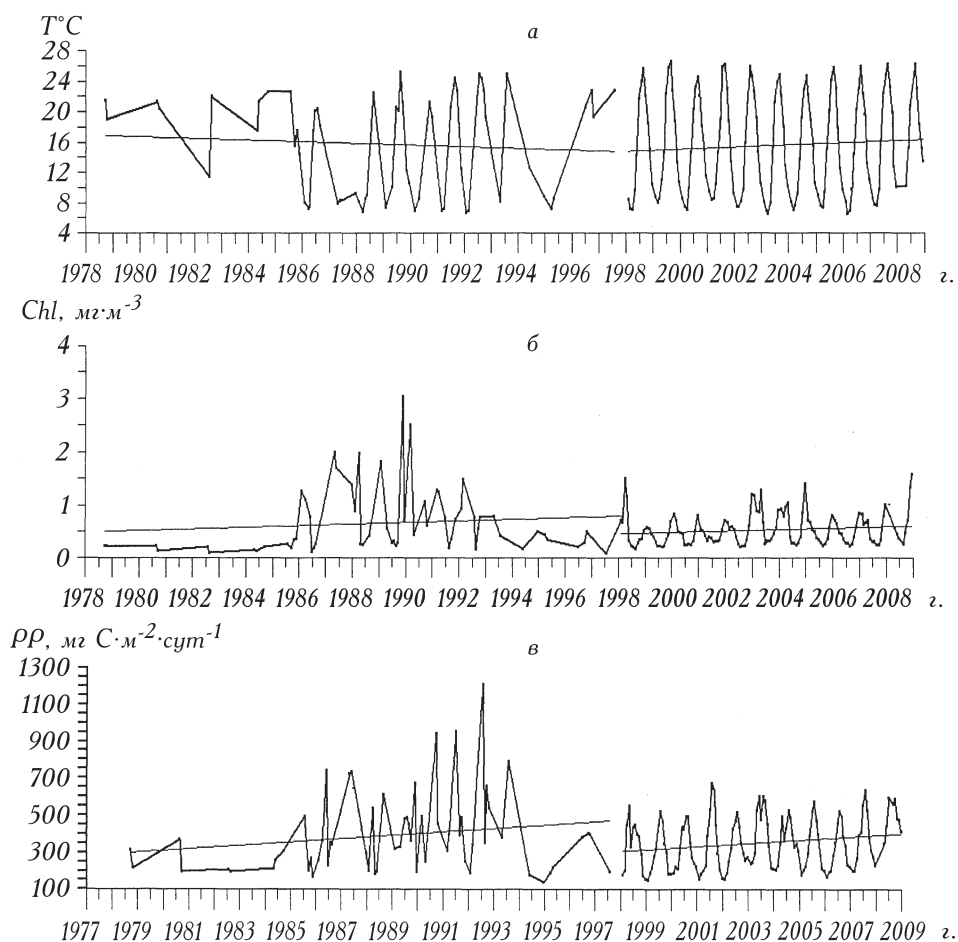
Многолетние изменения температуры, концентрации хлорофилла a и первичной продукции. Результаты расчета средних значений температуры, концентрации хлорофилла и первичной продукции с 1978 по 2008 г. представлены на рисунке 3. Содержание хлорофилла и температура имеют циклическую изменчивость, но максимумы этих показателей находятся в противофазе (рис. 3 *a*, *б*). Максимальные и минимальные значения хлорофилла варьируют, и наблюдается смещение сезонов «цветения» воды по годам. Максимальные величины концентрации хлорофилла в различные годы исследований изменялись от $0,72$ до $3,03 \text{ мг Хл} \cdot \text{м}^{-3}$. Они наблюдались либо в весенний период — март — апрель (1987, 1988, 1993, 1998, 2003, 2004 гг.), либо в зимний (1986, 1989—1992, 1999—2002, 2005—2008 гг.) и совпадали с

минимальной температурой воды. Минимальные значения $0,09\text{--}0,36\text{ мг Хл}\cdot\text{м}^{-3}$, напротив, соответствовали чаще всего температурным максимумам и наблюдались в основном в августе, реже в мае — июле. Значительное возрастание содержания хлорофилла, наблюдавшееся с 1986 по 1992 г., могло быть связано с аномально низкой зимней температурой в эти годы, что могло привести к подъему глубинных вод, богатых биогенными веществами. По данным прямых измерений, среднее содержание хлорофилла в 1978—1997 гг. было $0,66 \pm 0,29\text{ мг Хл}\cdot\text{м}^{-3}$, а по спутниковым за период 1998—2008 гг. — $0,53 \pm 0,23\text{ мг Хл}\cdot\text{м}^{-3}$. Как видно, величины в течение длительного периода оставались достаточно близкими.



2. Количество измерений концентрации хлорофилла *a* и температуры в поверхностном слое Черного моря, проведенных с 1978 по 1997 г.: *a* — по годам; *b* — по месяцам.

На рисунке 3 (в) приведена динамика первичной продукции фитопланктона, рассчитанная по уравнению (1). Наибольшие величины продукции отмечены в годы с высоким содержанием хлорофилла — с 1986 по 1993 г.. Возрастание продуктивности смещено к теплему сезону из-за ее прямой зависимости от света и прямой зависимости A_{opt}^B от температуры. Максимальная величина A ($1200\text{ мг С}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$) наблюдалась в июле 1992 г. и была обусловлена высокой концентрацией хлорофилла в этом месяце ($0,79\text{ мг Хл}\cdot\text{м}^{-3}$). По спутниковым наблюдениям с 1998 г. максимальные значения A (до $800\text{ мг С}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$) отмечены в 2003—2004 и в 2008 гг., в весенний и летний периоды. С 1998 по 2008 г. продукция была более стабильной, чем в предшествующий период. Среднегодовая первичная продукция фитопланктона в 1978—1997 гг. составляла $394,6 \pm 220,6\text{ мг С}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$, а в 1998—2008 гг. — $352,6 \pm 134,9\text{ мг С}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$. Из тренда на рисунке 3 (в) следует, что продуктивность с 1998 по 2008 г. увеличивалась на $9,5\text{ мг С}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$ ежегодно, то есть на 3% от средних за весь исследуемый интервал (период спутниковых наблюдений). За 11 лет увеличение составило $105,0\text{ мг С}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$. Этот показатель не достоверен, так как соответствует стандартному отклонению за этот период и сопоставим с погрешно-



3. Динамика среднемесячных значений температуры воды (а), содержания хлорофилла (б), первичной продукции (в) в Черном море за 1978—2008 гг.

стью спутниковых измерений. Возрастание первичной продукции в отдельные годы сменялось ее спадом (в 2000, 2002, 2004 и 2006 гг.).

Тренды концентрации хлорофилла и первичной продукции в 1978—1997 гг. лежат выше трендов этих показателей в 1998—2008 гг. Однако в середине 1990-х гг. отмечено их понижение. С 1998—2008 гг. наблюдается незначительное увеличение всех характеристик, хотя говорить о положительных трендах нельзя из-за их высокой вариабельности.

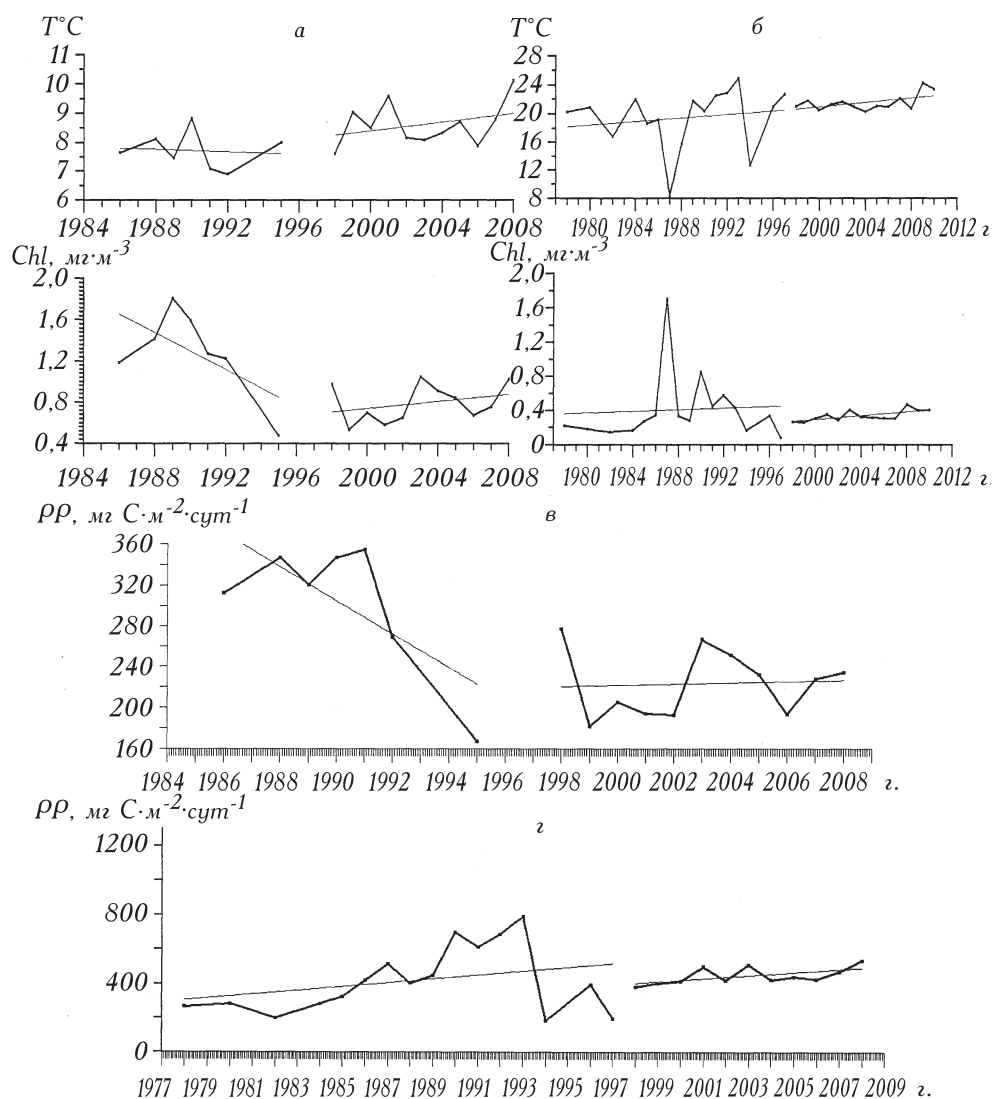
Межгодовые изменения концентрации хлорофилла а и первичной продукции в теплый и холодный сезоны. Более полную картину сезонных изменений продукции совместно с динамикой хлорофилла и температуры можно получить, анализируя теплый и холодный сезоны в отдельности за многолетний период. Холодный сезон года — декабрь — март, когда температура была ниже 15°C, теплый включал временной отрезок с мая по октябрь. Зна-

чения показателей рассчитывались как средние за сезон в каждом году. С 1986—1995 гг. наблюдался слабый отрицательный тренд температуры в холодный сезон, в то время как отрицательный тренд концентрации хлорофилла был четко выражен (рис. 4, а, б). Напротив, с 1998 по 2008 г. наблюдался положительный тренд как температуры, так и пигмента. В теплый период не наблюдалось тренда ни по температуре, ни по хлорофиллу. Данные зимнего сезона до 1995 г. включают наиболее холодные годы, тренд температуры в холодный период 1986—1995 гг. находится ниже тренда температуры 1998—2008 гг.; подобное наблюдается и в теплый сезон (см. рис. 4, а). Следовательно, можно отметить некоторое возрастание среднегодовой температуры. При этом тренд хлорофилла в холодный период от необычно высоких величин ($1,8\text{--}1,5\text{ мг Хл}\cdot\text{м}^{-3}$) в 1986—1992 гг. постепенно понижается (до $0,5\text{ мг Хл}\cdot\text{м}^{-3}$) к 1997 г., однако с 1998 г. начинает незначительно, но стабильно возрастать (см. рис. 4, а, б). В теплый период отмечено слабое его возрастание в 1978—2008 гг.

Такая же картина наблюдается и для продукции (рис. 4, в, г). В холодный период аномально высокие ее значения отмечались в 1986—1992 гг., вслед за которыми происходит некоторое ее снижение к 1997 г., с последующим незначительным увеличением с 1998 по 2008 г. В теплый период продукция незначительно возросла в течение всего временного интервала 1978—2008 гг. Средняя продукция в теплый период была в два раза ниже, чем в холодный. Изменения А в теплый и холодный периоды происходили часто разнонаправлено до 1997 г., в то время как с 1998 г. характер трендов был одинаковым. Эти различия, возможно, связаны не столько с особенностями изменения первичной продукции, сколько с небольшим количеством данных до 1997 г.

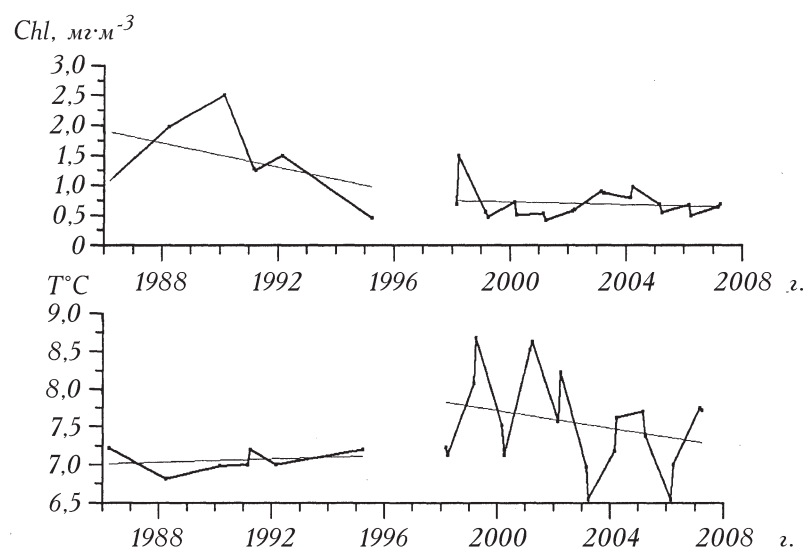
Связь между концентрацией хлорофилла а и температурой воды. (рис. 5). Высокие значения хлорофилла характерны для лет с более низкой температурой. Зимняя температура в 1986—1997 гг. в среднем была на полградуса ниже, чем в 1998—2008 гг. В рассматриваемые периоды температурного тренда не наблюдалось, однако во втором периоде колебания температуры были выражены сильнее, чем в первом. Тренд концентрации хлорофилла в 1986—1997 гг. был отрицательным, а в 1998—2008 гг. он отсутствовал. В холодный период года, когда температура опускалась ниже 8°C , происходило возрастание концентрации хлорофилла до $1\text{ мг Хл}\cdot\text{м}^{-3}$ и выше (рис. 5). Это было связано в основном с тем, что с понижением температуры создаются благоприятные условия для конвективного перемешивания водных масс и поступления биогенных веществ в эвфотический слой.

Для выявления взаимосвязи между температурой и концентрацией хлорофилла был проведен графический анализ динамики этих величин в сентябре за 30-летний период и в 1991 г. по сезонам (рис. 6, а, б). 1991 г. был выбран потому, что прямые измерения проводили во все месяцы, хотя при наличии ежемесячных данных аналогичную картину можно наблюдать и в другие годы. Соответственно сентябрь был выбран потому, что для него имелись данные прямых измерений для большинства лет.



4. Межгодовая динамика температуры и концентрации хлорофилла *a* с 1978 по 2008 гг. в холодный (*a*) и в теплый период (*б*); межгодовая динамика величин первичной продукции, полученной по модельным расчетам в холодный (*в*) и в теплый (*з*) периоды 1978—2008 гг.

Из рисунка б, *a*, отражающего динамику исследуемых показателей в 1991 г., прослеживается обратная зависимость концентрации хлорофилла от температуры. В сентябре же, в течение многих лет при изменении температуры от 16 до 23°C взаимосвязи не обнаружено. Содержание хлорофилла варьировало в сентябре от 0,2 до 0,6 мг Хл·м⁻³, в среднем составляя $0,34 \pm 0,20$. Большие отклонения наблюдались лишь в единичных случаях и, по-видимому, не были связаны с температурой.



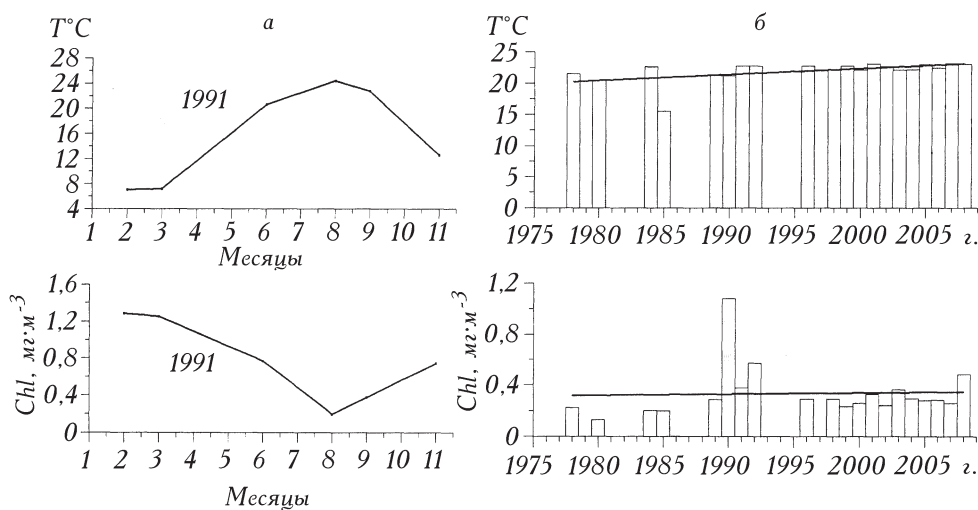
5. Динамика температуры и концентрации хлорофилла *a* в холодный период (февраль — март) 1986—2008 гг.

В целом, в сентябре временной тренд хлорофилла в течение 30-летнего периода отсутствовал. Влияние температуры на содержание хлорофилла косвенно, и потому наблюдаемая обратная зависимость (см. рис. 5, 6, *a*) привязана преимущественно к годовому циклу. Как видно, при одной и той же температуре в различные годы и сезоны содержание хлорофилла может различаться (см. рис. 6, *b*), тогда как общая годовая динамика отношения температура — хлорофилл сохраняется. Итак, крайне низкие зимние температуры оказывают существенное влияние на концентрацию хлорофилла.

Обсуждение результатов исследований

Анализ межгодовых изменений температуры в поверхностном слое в Черном море показал периодичность холодных и теплых зим. В течение столетнего периода (1880—2000 гг.) Т. Огуз [17] выделил 10 циклов продолжительностью от трех до пяти лет. В холодные зимы интенсивность турбулентного и конвективного перемешивания и обеспеченность фитопланктона биогенными веществами выше, чем в теплые, что приводит к повышению продуктивности фитопланктона. Для холодного периода он выделил по времени четыре температурных фазы. Первая фаза отмечена с 1880 до 1915 г., за которой следовал период более высоких зимних минимумов (1915—1960 гг.); следующая фаза, в которую продолжилось возрастание, длилась до 1980 г., и во время четвертой фазы 1980-е—1990-е гг. произошел резкий спад зимних температур. В целом автор, рассматривая цикличность зимних температурных минимумов, обозначил слабый положительный тренд за столетний период [17].

По многолетним наблюдениям в глубоководной зоне Черного моря отмечено незначительное возрастание температуры за 30 лет: по неполным дан-



6. Изменение среднемесячных значений температуры и концентрации хлорофилла *a* в течение 1991 г. (а), температура и концентрация хлорофилла *a* в сентябре 1978—2008 гг. (б).

ным — на $0,006^{\circ}\text{C}$ в год, и более объективное, при наличии ежемесячных измерений за 13 лет (1998—2008 гг.) для холодного периода — на $0,077^{\circ}\text{C}$ в год. Однако эти величины эквивалентны погрешностям измерений и не могут рассматриваться как существенные. Поэтому устойчивых температурных трендов на протяжении указанного отрезка времени обнаружено не было. По прямым измерениям, приведенным в базе данных ИнБЮМ (см. рис. 3), конец 1980-х — начало 1990-х гг. отличался крайне низкими зимними температурами, понизившимися до 7°C и ниже (1987, 1988, 1990, 1992 гг.). Такие же холодные зимы за весь 30-летний период, кроме указанных лет, наблюдались еще в 2003 и 2006 гг., когда зимние температуры снижались до $6,5^{\circ}\text{C}$. Других авторы [7—9, 17], проводившие исследования как в различных частях Черного моря, так и по всей его акватории, 1980—1990-е гг. также выделяли как период пониженных температур и высокой продуктивности. На основании спутниковых данных акцентируется внимание на том, что вариации температур и изменение их тренда в различных частях моря происходят неодинаково, но общая тенденция к повышению либо понижению температуры сохраняется [1].

Многолетние данные показали, что температура и содержание хлорофилла могут существенно варьировать в каждом из сезонов в различные годы. Значимый тренд концентрации хлорофилла в течение последних 30 лет выявить не удалось, хотя отмечалась тенденция к ее возрастанию с чередованием периодических подъемов и спадов в поверхностном слое. Содержание хлорофилла повышалось при понижении температуры. Однако тесной корреляции между температурой и концентрацией хлорофилла как в холодный, так и в теплый периоды года не наблюдалось. За 16 лет — с 1978 до 1994 г. — происходило возрастание концентрации хлорофилла с заметным повышением в конце 1980-х — начале 1990-х гг. В целом, содержание хлорофилла, за этот период увеличилось на $0,23 \text{ мг Хл}\cdot\text{м}^{-3}$. С 1994 г. наблюдался спад фитопланктона, а с 2000 по 2008 г. отмечено увеличение содержа-

ния хлорофилла на $0,19 \text{ мг Хл м}^{-3}$. Однако оба повышения тренда находятся в пределах погрешности измерений, и считать достоверными их нельзя. С. И. Кропотов и О. В. Кривенко [8] пришли к выводу, что в 1980—1995 гг. в различных районах глубоководной части Черного моря многолетние тренды изменения концентрации хлорофилла отсутствуют и сезонная изменчивость выше, чем межгодовая. О. А. Юнев [14] при анализе той же базы данных, пришел к противоположному выводу. Возможно, эти различия связаны с разными способами обработки данных. Во второй работе, в отличие от первой, при определении временных трендов не учитывалась пространственная изменчивость концентрации хлорофилла. Кроме того, О. А. Юнев [14] принимал, что концентрация хлорофилла с мая по октябрь стабильна, не претерпевает значительных колебаний и её можно усреднять. В другой работе оценивается межгодовая динамика суммарной биомассы фитопланктона по осредненным данным за 3—5 лет [13]. По проведенным оценкам, биомасса фитопланктона достигала максимума в 1984—1988 гг. О. В. Кривенко и А. В. Пархоменко [7] провели анализ по среднемесячным данным за тот же период и показали, что высокая величина биомассы коррелирует с минимальной температурой в зимний период. Максимальные значения биомассы фитопланктона, по их данным, наблюдались в 1989 и 1992 гг. [7, 17]. По результатам нашей работы (см. рис. 3, б), период наиболее высоких концентраций хлорофилла можно выделить в 1987—1992 гг. Следует отдельно отметить 1992 г., с крайне низкой температурой зимой и высокими значениями биомассы фитопланктона, концентрации хлорофилла и первичной продукции в течение всего года. В зимние месяцы года температура опускалась ниже 7°C , концентрация хлорофилла достигала $1,5 \text{ мгм}^3$, что сопровождалось относительно высокими значениями интегральной первичной продукции (см. рис. 3). Анализ межгодовой изменчивости концентрации хлорофилла в восточной части Черного моря по средним и медианным величинам показал, что в районах, близких к берегу, в 1990-х гг. наблюдалось его увеличение по сравнению с 1960-ми гг. [4]. Авторы считают, что причиной этого было увеличение антропогенной нагрузки в прибрежных районах. В то же время в открытых районах моря динамика концентрации хлорофилла была более устойчивой. Что касается годового хода содержания хлорофилла в глубоководных районах моря, то в целом видно (см. рис. 3), что он имеет приблизительно U-образную форму, с минимумом в летний период, что совпадает с данными спутниковых наблюдений [9].

Таким образом, концентрация хлорофилла в различные годы имеет неодинаково выраженные характерные сезонные максимумы. Средние значения по сезонам варьируют в широком диапазоне. Значительное увеличение концентрации хлорофилла обычно сопутствует низким зимним температурам. Достоверного многолетнего тренда не наблюдается.

Положительный тренд первичной продукции отмечен с 1998 г. (ежегодно около 3%), однако это значительно меньше ее межгодовой вариабельности (38%) и сопоставимо с погрешностями измерений, так что данный тренд можно считать недостоверным. За более длительное время (1978—2008 гг.) значимого тренда выявить не удалось. Можно выделить аномальный период повышения продукции в 1986—1993 гг., что связано с резким понижением зимних температур. Показатели содержания хлорофилла и продукции во

второй половине 1980-х гг. возрастали, так как понижение температуры до 7°C способствовало включению в конвективное перемешивание глубоких слоев воды, богатых биогенными элементами (см. рис. 3). В эти годы отмечено также увеличение интегральной биомассы фитопланктона [7], что связывают с увеличением поступления биогенных веществ со стоком р. Дунай [14], однако роль климатического фактора была столь существенна, что не могла не отразиться на трофности, как прибрежной, так и глубоководной зон Черного моря. Так, О. А. Юнев [14], проводя оценку первичной продукции Черного моря с 1960-х по начало 2000-х годов, выявил, что в 1980—1990 гг. она была вдвое выше по сравнению с 1960-ми годами, а с 1993 г. уменьшилась, что он связывает преимущественно с антропогенным влиянием. Для 1960-х гг. продукция получена по данным о ежегодном пополнении водных масс неорганическими соединениями азота, поступающими со стоком реки Дунай. Было принято, что 60% поступления азота ассимилируется фитопланктоном в северо-западной части, и 40% — в глубоководной. Разделив количество поступающего азота в глубоководную часть на ее площадь и приняв Редфилдское соотношение в планктоне между органическим углеродом и азотом, он получил величину годовой продукции равной $60 \text{ г С} \cdot \text{м}^{-2}$. В основу оценки продукции в конце 1980-х гг. была положена связь между продукцией фитопланктона, интегрированной по глубине, и концентрацией хлорофилла в поверхностном слое. Однако A из работы [14] не согласуются с оценками продукции, приведенными выше и величинами A [11] рассчитанными по основным физиологическим параметрам фитопланктона и концентрации хлорофилла, измеренные по спутниковым данным.

По результатам проведенной работы достоверного увеличения первичной продукции в глубоководных районах Черного моря в течение последних 30 лет выявить не удалось. Кратковременные повышения и уменьшения этого показателя могли наблюдаться только в отдельные годы.

Заключение

Данные, обобщенные за 30-летний период (1978—2008 гг.), позволили провести анализ многолетней изменчивости температуры, содержания хлорофилла a и первичной продукции для глубоководной части Черного моря. За этот период не выявлено достоверных трендов исследуемых показателей. Незначительное увеличение интегральной продукции находилось в пределах стандартного отклонения. Это справедливо как для многолетней динамики, так и для теплых и холодных сезонов в отдельности, несмотря на похолодание в 1980-х гг. В целом можно сделать вывод о стационарности процессов, происходящих в глубоководной части Черного моря, несмотря на наличие межгодовой изменчивости, слабо выраженной при наличии спадов и подъемов рассматриваемых характеристик. Многолетние изменения концентрации хлорофилла, температуры и первичной продукции из года в год меньше по сравнению с вариациями этих характеристик между сезонами. Высокая концентрация хлорофилла наблюдается в годы с низкой температурой в зимний период.

Автор благодарит, сотрудников отдела экологической физиологии водорослей ИнБЮМ НАН Украины за возможность использование базы данных по концентрации хлорофилла в планктоне Черного моря, старшего научного сотрудни-

ка Морского гидрофизического института НАН Украины, к. ф-м. н. В. В. Суслина за предоставленную возможность использовать спутниковые данные по концентрации хлорофилла и температуры в поверхностном слое Черного моря.

**

Узагальнено дані щодо зміни температури і концентрації хлорофілу а в поверхневому шарі глибоководної частини Чорного моря за період з 1978 по 2008 рр. За цими параметрами, а так само за зміною освітленості і фізіологічної активності фітопланктону відновлений хід багаторічної динаміки первинної продукції. Проведено аналіз середньомісячних змін первинної продукції в теплі і холодні періоди року. Розраховано тренди продуктивності фітопланктону, температури і хлорофілу по щомісячних середніх значеннях. Достовірних трендів у досліджених параметрів за вказаний період виявлено не було. Максимальні значення концентрації хлорофілу спостерігалися за низької температури води в зимово-весняний період, мінімальні — в літній період.

**

Data on variability of temperature and concentration of chlorophyll a were generalized for the deep-water Black Sea from 1978 to 2008. Based on these parameters as well as on the data on the light intensity and physiological activity of phytoplankton the long-term dynamics of primary production was restored. The analysis of monthly averaged changes of primary production during the warm and cold periods of the year was carried out. Trends of primary production, temperature and chlorophyll a on monthly averaged values were calculated. Significant trends of the investigated parameters for the 30-years period have not been revealed. The maximum values of concentration of chlorophyll were observed at low temperatures of water during the winter-spring period, minimum - during the summer period.

**

1. Артамонов Ю. В., Бабий М. В., Скрипалева Е. А. Региональные особенности межгодовой изменчивости поля температуры на поверхности океана // Сб. Системы контроля окружающей среды. — Севастополь, 2005. — С. 240—242.
2. Вегерников В. И. Особенности распределения первичной продукции и хлорофилла в Черном море в весенний и летний периоды // Изменчивость экосистемы Черного моря: естественные и антропогенные факторы. — М.: Наука, 1991. — С. 128—147.
3. Вегерников В. И. Первичная продукция и хлорофилл в Черном море в летне-осенний период // Структура и продукционные характеристики планктонных сообществ Черного моря. — М.: Наука, 1989. — С. 65—83.
4. Вегерников В. И., Демидов А. Б. Долговременная и сезонная изменчивость хлорофилла и первичной продукции в восточных районах Черного моря // Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря. — М.: Наука, 2002. — С. 212—234.
5. Вегерников В. И., Демидов А. Б. Сезонная изменчивость первичной продукции и хлорофилла в открытых районах Черного моря / Ред. М. Е. Виноградов: Зимнее состояние экосистемы открытой части Черного моря. — М.: РАН ИО им. П. П. Ширшова, 1992. — С. 71—89.
6. Ковалева И. В. Сравнение алгоритмов расчета первичной продукции Черного моря по концентрации хлорофилла в поверхностном слое, ин-

- тенсивности солнечной радиации и температуре // Морск. эколог. журн. — 2010. — Т. 9, № 2. — С. 62—73.
7. *Кривенко О. В., Пархоменко А. В.* Пространственная и временная изменчивость биомассы фитопланктона в Черном море за период 1948—2000 гг. // Там же. — 2010. — Т. 9, № 4. — С. 5—24.
 8. *Кропотов С. И., Кривенко О. В.* Хлорофилл *a* и продукты его распада в водах Черного моря: сезонная и межгодовая изменчивость // Журн. общ. биологии. — 1999. — Т. 60, № 5. — С. 556—570.
 9. *Финенко З. З.* Первичная продукция Черного моря: экологические и физиологические характеристики фитопланктона // Экология моря. — 2001. — Вып. 57. — С. 60—67.
 10. *Финенко З. З., Чурилова Т. Я., Пархоменко А. В., Тугрул С.* Фотосинтетические характеристики фитопланктона в западной части Черного моря в период осеннего цветения // Морск. эколог. журн. — 2008. — Т. 7, № 4. — С. 75—84.
 11. *Финенко З. З., Суслин В. В., Чурилова Т. Я.* Региональная модель для расчета первичной продукции Черного моря с использованием данных спутникового сканера цвета Sea WiFS // Там же. — 2009. — Т. 8, № 1. — С. 81—106.
 12. *Финенко З. З., Чурилова Т. Я., Суслин В. В.* Оценка биомассы фитопланктона и первичной продукции в Черном море по спутниковым данным // Ред. В. Н. Еремеев, А. В. Гаевская, Г. Е. Шульман, Ю. А. Загородняя: Промысловые биоресурсы Черного и Азовского морей — НАН Украины, Институт биологии южных морей. — Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. — С. 220—236.
 13. *Юнев О. А., Шульман Г. Е., Юнева Т. В., Мончева С.* Соотношение запасов мелких пелагических рыб и биомассы фитопланктона как индикатор состояния экосистемы пелагиали Черного моря // Докл. АН РАН. — 2009. — Т. 428, № 3. — С. 426—429.
 14. *Юнев О. А.* Эвтрофикация глубоководной части Черного моря: многолетние изменения годовой первичной продукции фитопланктона // Системы контроля окружающей среды. Средства, информационные технологии и мониторинг. — Севастополь: Морск. гидрофиз. ин-т НАН Украины, 2009. — С. 383—389.
 15. *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.
 16. *Kovalev A. V., Neirman U., Melnikov V. V. et al.* Long-term changes in the Black Sea zooplankton: the role of natural and anthropogenic factors / L. I. Ivanov and T. Oguz. Ecosystem Modeling as a Management Tool for the Black Sea: NATO ASI Series 2: Environment 47. — Dordrecht: Kluwer Academic Publ., 1998. — P. 221—234.
 17. *Oguz T., Dippner J. W., Kaymaz Z.* Climatic regulation of the Black Sea hydro-meteorological and ecological properties at interannual-to-decadal time scales // Marine Systems. — 2006. — Vol. 60. — P. 235—254.
 18. *Protocols for the Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) Core Measurements, Manual and Guides*, UNESCO. — 1994. — Vol. 29. — P. 97—100.

Институт биологии южных морей НАН Украины,
Севастополь

Поступила 07.10.13