

УДК911
Холопцев А.В.,
Свирина Е.С.,
Юсупова Т.С.

Прогноз изменений среднегодовых концентраций хлорофилла-А в поверхностных водах акваторий западной части тропической зоны Тихого океана

Севастопольський національний технічний університет,
г. Севастополь

Аннотация. Особенности происходивших в период 1969-2008 гг. изменений концентраций хлорофилла-А в поверхностных водах ряда районов западной части тропической зоны Тихого океана, позволяют предполагать, что этот процесс вызван уменьшением интенсивности происходящего в них апвеллинга, которое является откликом на вариации солнечной активности, предшествующие им на 182-192 года.

Ключевые слова: среднегодовая концентрация, хлорофилл А, Западная часть тропической зоны Тихого океана, фитопланктон, апвеллинг, поверхностные воды, потепление климата, солнечная активность.

Введение

Хлорофилл А является важнейшим микрокомпонентом химического состава поверхностных вод Мирового океана, который содержится в организмах многих разновидностей фитопланктона и участвует в происходящих в них процессах фотосинтеза[1]. Поэтому выявление особенностей влияния на пространственно-временную изменчивость его концентраций различных физико-географических факторов является актуальной проблемой физической географии, а также гидробиологии.

Наибольший интерес решение рассматриваемой представляет в отношении глобальных факторов, воздействующих на экосистемы всех регионов Мирового океана. К их числу относятся вариации солнечной активности, а также потепление глобального климата, происходящее в современном периоде и оказывающее все большее влияние на любые компоненты биосферы. Принято считать, что существенная активизация этого процесса, которая явилась следствием увеличения концентраций в атмосфере диоксида углерода и других парниковых газов, произошла в середине 80-х годов XX века [2]. Следствиями его явилось повышение среднегодовых значений температур поверхностных вод (далее ASST) различных районов Мирового океана и многие другие гидрофизические и гидрохимические процессы, способные оказывать ощутимое влияние на развитие в них фитопланктона.

Фитопланктон является наиболее массовым компонентом сообщества продуцентов, и потому ключевым элементом трофических цепей поверхностных вод любых регионов Мирового океана. Он производит до 50% всей органики, образующейся за год на нашей планете, и поглощает до половины углекислого газа, ассимилируемого из атмосферы[3]. Большую часть годовой продукции органики производит фитопланктон Тихого океана.

Хлорофилл А входит в состав обитающих здесь организмов фитопланктона, к наиболее массовым видам которого относятся диатомовые, пиридиниевые и сине-зеленые водоросли. На указанные классы низших растений, приходится более 50% всей продукции сообществ различных океанических регионов. Поэтому концентрацию в их поверхностных водах данного вещества принято рассматривать как характеристику состояния их экосистем[4].

Основой современных представлений об особенностях пространственно-временной изменчивости численностей и биомасс популяций фитопланктона Тихого океана являются работы И. А. Киселева [5], В.В. Зерновой [6], Г. И. Семиной[7], Г. И. Семиной и В.В. Зерновой [8], К. В. Беклемишева, Н. В. Парина, Г. И. Семиной[9], М. Е. Виноградова, Э. А. Шушкиной[10].

Ныне масштабные исследования особенностей фитопланктона в водах Тихого океана осуществляют ученые многих стран. При этом ведущую роль в них играют работы NOAA

(National Oceanic and Atmospheric Administration, USA), NASA (National Air - Space Agency), Объединенного института по изучению атмосферы и океана (Сиэтл, Вашингтон, США), Института океанологии им. П. П. Ширшова и Тихоокеанского океанологического института им. В. И. Ильичева Российской академии наук.

Установлено, что в состав планктонной флоры Тихого океана входят более чем 1000 видов одноклеточных водорослей, принадлежащих к 8 отделам — разножгутиковым (Xanthophyta), перидиниям (Pyrrhophyta), золотистым (Chryzophyta), сине-зеленым (Cyanophyta), диатомовым (Bacillariophyta), эвгленовым (Euglenophyta), зеленым (Chlorophyta) и жгутиковым водорослям (Flagellata). Наибольшим количеством видов представлены перидиниевые (683 вида), диатомовые (272 вида) и золотистые водоросли (55 видов).

Диатомовые водоросли в Тихом океане обитают повсеместно. Особенно многочисленны они в его Субарктической и Антарктической областях[11]. В его тропической зоне, напротив, обычно преобладают перидиниевые водоросли[9,10].

В районах Тихого океана, расположенных в западной части его тропической и субтропической зон Северного полушария, среднегодовые значения численности фитопланктона и его биомассы сравнительно не велики. Здесь его развитие лимитируют концентрации в поверхностных водах растворимых соединений фосфора и азота. Поэтому в данных районах изменения указанных характеристик фитопланктона наиболее зависимы от изменений потоков этих соединений, которые в значительной мере поступают из глубинных слоев океана.

При увеличении потока подобных веществ, поступающих в поверхностные воды указанных районов океана, численности и биомассы обитающих в них популяций фитопланктона соответственно возрастают. Соответственно увеличивается и концентрация в поверхностных водах хлорофилла А. Вследствие этого ее изменения фактически характеризует интенсивность происходящего в таких районах апвеллинга. При ее увеличении, концентрация в них хлорофилла –А всегда возрастает.

Установлено [12], что значения численности и биомассы фитопланктона, а также концентрации хлорофилла А, во многих регионах Мирового океана на протяжении периода современного потепления климата устойчиво снижались. Наиболее интенсивно этот процесс протекал в северных районах Тихого океана, где их значения, как правило, максимальны. Учитывая роль фитопланктона в удалении из атмосферы диоксида углерода, выявление причин данного явления представляет значительный теоретический и практический интерес. Тем не менее, до сих пор механизм, который его вызывает, изучен недостаточно.

Одной из наиболее вероятных его причин может являться снижение интенсивности апвеллинга, происходящего во многих районах Тихого океана, обусловленное увеличением солёности участвующих в этом процессе его субарктических промежуточных, а также верхних глубинных вод [13].

Указанный процесс, по-видимому, является следствием увеличения солёности поверхностных вод в Субантарктической зоне конвергенции, в период формирования упомянутых промежуточных и верхних глубинных вод. Учитывая оценки скорости распространения данных вод в Тихом океане[14] можно согласиться с предположением[13], согласно которому упомянутый период приходится на 70-е – 90-е годы XVII века, когда уровни солнечной активности были не велики. В результате последнего были снижены и соответствующие значения солнечной постоянной, вследствие чего уменьшился и поток суммарной солнечной радиации, поглощаемый поверхностными водами акваторий упомянутой зоны. Это привело к увеличению интенсивности образования в ней морских льдов и уменьшению интенсивности процессов таяния, а значит и к увеличению среднегодовых значений солёности поверхностных вод подобных акваторий[15].

Наличие значимой статистической связи между фрагментами предыстории чисел Вольфа, начинающимися в указанный период, а также временными рядами поверхностных температур многих районов Тихого, Атлантического и Индийского океанов в 1975-2011 гг. подтверждено в [16].

Следует отметить, что к их числу относятся не только районы, расположенные на севере Тихого океана, но и относящиеся к западной части его тропической зоны. Изложенные факты позволяют предположить, что между современными изменениями

среднегодовых концентраций хлорофилла А в поверхностных водах акваторий западной части тропической зоны Тихого океана, а также опережающей их приблизительно на 200 лет предысторией вариаций солнечной активности может существовать значимая статистическая связь.

Несмотря на то, что систематический мониторинг изменений солнечной активности осуществляется с 1749 года, а история океанографических исследований в указанных районах Тихого океана насчитывает много десятилетий, проверка адекватности данного предположения ранее не осуществлялась. В результате прогнозов изменения концентраций хлорофилла А в их поверхностных водах, учитывающих влияние солнечной активности разработано не было.

Учитывая это, как объект исследования в данной работе выбраны изменения среднегодовых концентраций хлорофилла А в поверхностных водах акваторий западной части тропической зоны Тихого океана.

Предметом исследования являлся прогноз изменений среднегодовых концентраций хлорофилла А в поверхностных водах подобных акваторий.

Целью работы являлась проверка выдвинутого предположения, а также разработка прогноза изменений среднегодовых концентраций хлорофилла А в поверхностных водах рассматриваемых акваторий, учитывающего предысторию вариаций солнечной активности.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

- выявление условий, при которых между современными изменениями среднегодовых концентраций хлорофилла А в поверхностных водах изучаемых акваторий, а также предысторией вариаций солнечной активности существуют значимые статистические связи;

- разработка прогнозов изменчивости среднегодовых концентраций хлорофилла А в поверхностных водах данных акваторий с учетом предыстории вариаций солнечной активности.

Фактический материал и методика исследований

Основной проблемой, осложняющей выявление статистических связей между изменениями состояний солнечной активности, а также концентраций хлорофилла А в поверхностных водах различных районов Мирового океана, является недостаток результатов наблюдений, который для большинства из них не позволяет составить достаточно протяженные временные ряды.

Информация о результатах океанографических исследований во всех регионах Мирового океана представлена в различных базах данных. Одной из наиболее представительных, является база данных NOAA [17]. Тем не менее и в ней содержатся данные о результатах измерения на поверхности океанов солёности и хлорофилла-А, которые позволяют сформировать непрерывные временные ряды среднегодовых значений данных характеристик за период с 1969 по 2008 г. лишь для некоторых акваторий Тихого океана, ограниченных квадратами координатной сетки размерами $5^{\circ} \times 5^{\circ}$. К числу последних относятся и акватории западной части тропической зоны Тихого океана, с центрами на меридиане $137.5^{\circ}E$, которые расположены между экватором и параллелью $45^{\circ}N$.

Упомянутые данные получены многими научными экспедициями, в различных пунктах рассматриваемых акваторий и в разные даты. При этом измерение концентраций хлорофилла –А производилось с использованием спектрофотометрического метода [18]. В процессе каждого измерения производился отбор батометрической пробы воды, а также спектрофотометрирование экстракта пигментов до и после его подкисления раствором соляной кислоты.

При расчетах концентрации хлорофилла- А учитываются известные значения удельных спектральных показателей поглощения света рассматриваемым веществом и другими компонентами экстракта, мешающими анализу.

Усреднив все данные о концентрации хлорофилла- А, относящиеся к одной и той же акватории океана, соответствующей некоторому квадрату $5^{\circ} \times 5^{\circ}$, и каждому году, из них были сформированы временные ряды ее среднегодовых значений.

В качестве примеров, полученные таким образом зависимости среднегодовых значений концентрации хлорофилла А в поверхностных водах акватории Тихого океана с координатами центра (7.5°N, 137.5°E) представлены на рисунке 1.

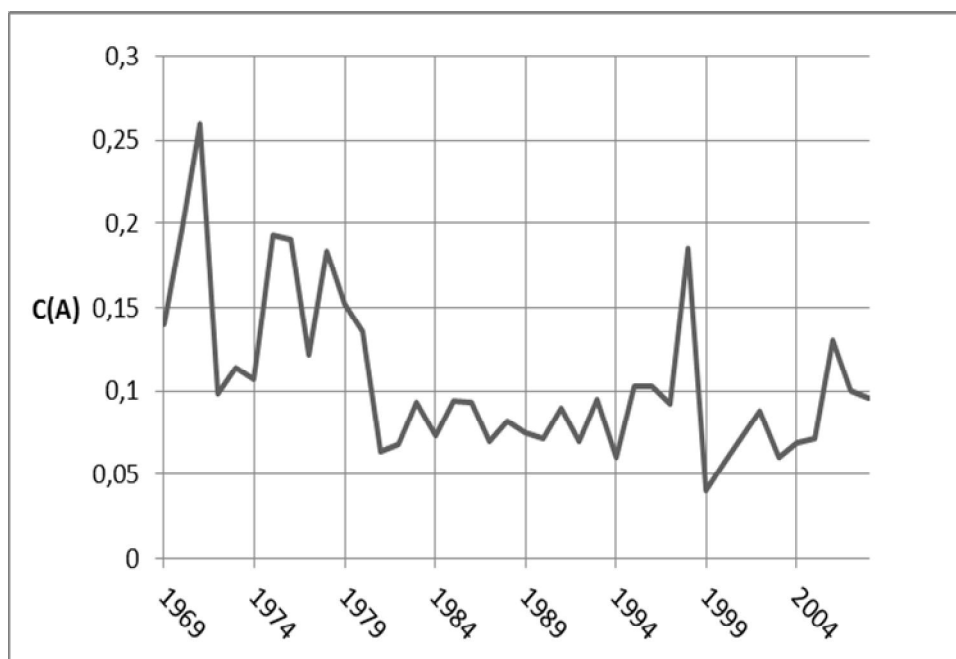


Рис. 1. Изменения среднегодовых концентраций хлорофилла А (C(A)) в поверхностных водах акватории Тихого океана, с координатами центра (7.5°N, 137.5°E) в период 1969-2008 гг.

Из рисунка 1 следует, что в рассматриваемом районе западной части Тропической зоны Тихого океана в период 1969-2008 гг среднегодовые концентрации хлорофилла А действительно ощутимо снизились, что подтверждает адекватность вывода[12]. Следует отметить, что количества измерений в каждом из рассматриваемых квадратов, приходящиеся на разные годы, между собой различаются. Даты, в которые, проводились подобные измерения, распределены в пределах года неравномерно и в разных квадратах по разному. Вследствие этого подобные временные ряды не являются равноточными. В них присутствует случайная составляющая, возникающая при вычислении среднего арифметического данных, полученных в каждом из них на протяжении того или иного года, что, по-видимому, является причиной возникновения некоторых выбросов на представленной зависимости. Тем не менее, многие из них объективно отражают происходившие изменения среднегодовых концентраций хлорофилла А.

Аналогичные зависимости получены и для прочих акваторий Тихого океана, центры которых расположены по меридиану 137.5°E от экватора до параллели 35°N.

Как фактический материал об изменениях солнечной активности рассматривался временной ряд среднегодовых значений чисел Вольфа, отражающий особенности данного процесса за период 1749-2009 гг.[19].

При выявлении значимых статистических связей между рассматриваемыми процессами применялся метод корреляционного анализа[20]. Рассматривались зависимости от года начала фрагмента ряда среднегодовых чисел Вольфа (далее СВ) коэффициента его парной корреляции с рядом среднегодовых концентраций хлорофилла А в том или ином квадрате за 1969-2008 гг.. Как значимые рассматривались значения упомянутого коэффициента, превышающие уровень 99% порога достоверной корреляции по критерию Стьюдента, составляющий 0.4.

При прогнозировании использовался метод линейной множественной регрессии[21]. В соответствии с ним, математическая модель $Y(t)$ изучаемого процесса $y(t)$ ищется в виде уравнения линейной регрессии:

$$Y(t) = c_0 + c_1 x_1(t) + c_2 x_2(t) + \dots + c_N x_N(t), \quad (1)$$

где c_i – действительные константы, выбираемые так, чтобы сумма квадратов отклонений $z(t) = Y(t) - y(t)$ для всех моментов времени t , в которые проводились наблюдения, являлась минимальной,

$x_i(t)$ – состояния в те же моменты времени t процессов, значимо статистически связанных с $y(t)$. В качестве аргументов модели (1) использованы фрагменты временного ряда W , значимо статистически связанные с рядом среднегодовых концентраций хлорофилла А океана, установленные при решении первой задачи.

Пусть число этих аргументов равно M . Тогда коэффициенты уравнения линейной регрессии c_i находят с помощью метода наименьших квадратов []. При этом N -мерный вектор их значений \underline{C} находится путем решения векторно-матричного уравнения:

$$\underline{B} = A * \underline{C}, \quad (4)$$

где \underline{C} – N -мерный вектор;

$$B = \left\{ \begin{array}{c} \sum_{i=1}^M y_i \\ \sum_{i=1}^M y_i x_{i,1} \\ \dots \\ \sum_{i=1}^M y_i x_{i,N} \end{array} \right\}; \quad A - \text{матрица } N \times N:$$

$$A = \left\{ \begin{array}{cccc} M & \sum_{i=1}^M x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,2} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} \\ \sum_{i=1}^M x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,1} x_{i,1} & \sum_{i=1}^M x_{i,2} x_{i,1} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} x_{i,1} \\ \sum_{i=1}^M x_{i,2} & \sum_{i=1}^M x_{i,1} x_{i,2} & \sum_{i=1}^M x_{i,2} x_{i,2} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} x_{i,2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^M x_{i,N} & \sum_{i=1}^M x_{i,1} x_{i,N} & \sum_{i=1}^M x_{i,2} x_{i,N} & \dots & \sum_{i=1}^M x_{i,N} x_{i,N} \end{array} \right\}.$$

Это решение имеет вид:

$$\underline{C} = A^{-1} * \underline{B}, \quad (5)$$

где A^{-1} матрица обратная по отношению к A .

Прогнозирование осуществлялось путем подстановки в уравнение (3) членов ряда СВ, опережающих прогнозируемое значение среднегодовой концентрации хлорофилла А на то или иное время. Предполагалось, что среднеквадратическая ошибка прогноза определяется значением той же характеристики результатов моделирования, которая рассчитывалась за период с 1948 по 2011 гг. Также допускалось, что ошибка прогноза распределена по нормальному закону.

Результаты и их анализ

В соответствии с изложенной методикой построены зависимости от года начала фрагмента ряда среднегодовых чисел Вольфа (далее СВ) коэффициента его парной корреляции с рядом среднегодовых концентраций хлорофилла А в том или ином квадрате западной части Тихого океана за 1969–2008 гг.. В качестве примеров на рисунке 2 упомянутые зависимости приведены для квадратов с центрами на параллелях 32.5 °N, 27.5 °N, 22.5 °N, 17.5 °N, 12.5 °N и 7.5 °N.

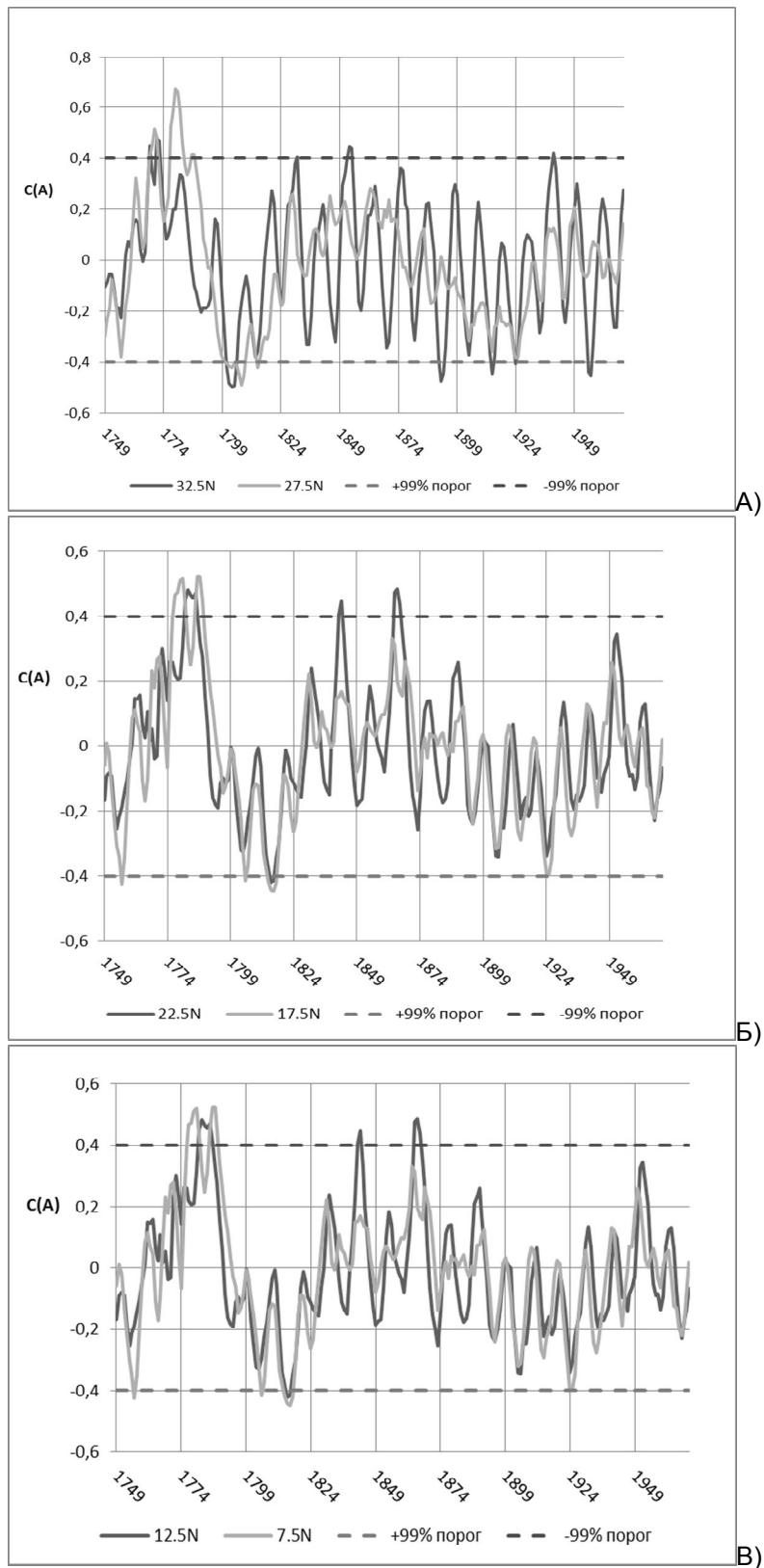


Рис. 2. Зависимости от года начала фрагмента ряда СВ коэффициента его парной корреляции с рядом среднегодовых концентраций хлорофилла- А в поверхностных водах западной части тропической зоны Тихого океана.

Как видно из рисунка 2, максимальная положительная корреляция изменений концентраций хлорофилла- А в поверхностных водах рассматриваемых акваторий западной части тропической зоны Тихого океана в период 1969-2008гг. а также фрагмента ряда СВ достигается при условии, что последний начинается с 1777 по 1787 гг. (опережение 182-192 года). При этих временных сдвигах корреляция рассматриваемых процессов превышает уровень 99% порога достоверной корреляции по критерию Стьюдента (0.4), если временные ряды изменений концентраций хлорофилла соответствуют акваториям, расположенным между параллелями 5 °N и 30 °N.

Данные особенности учтены при разработке прогнозов изучаемых процессов.

В таблице 1 в качестве примера представлены годы начала отрезков ряда СВ, использованных в качестве аргументов модели (1) изменений концентраций хлорофилла в акватории западной части Тихого океана с координатами центра 17.5 °N, 137.5 °E, а также соответствующих ее коэффициентов C_i .

Таблица 1.
Годы начала отрезков ряда СВ, использованных в качестве аргументов модели (1) изменений концентраций хлорофилла в акватории западной части Тихого океана с координатами центра 17.5 °N, 137.5 °E, а также соответствующих ее коэффициентов C_i .

№	Год	C_i	№	Год	C_i	№	Год	C_i
0		0.05036	5	1779	0.000655	10	1784	-0.00032
1	1775	-1.3E-05	6	1780	-0.00023	11	1785	0.000808
2	1776	0.000179	7	1781	0.000609	12	1786	-0.0006
3	1777	0.000382	8	1782	3.12E-05	13	1787	0.000601
4	1778	-0.00088	9	1783	-0.00012	14	1788	-0.00024

С использованием описанной таким образом модели осуществлено моделирование и прогнозирование изменений концентраций хлорофилла А в акватории западной части Тихого океана с координатами центра 17.5 °N, 137.5 °E на период до 2190 года. Фактические изменения рассматриваемой характеристики в период 1969 по 2008 гг., а также результат ее моделирования и прогнозирования представлены на рисунке 3.

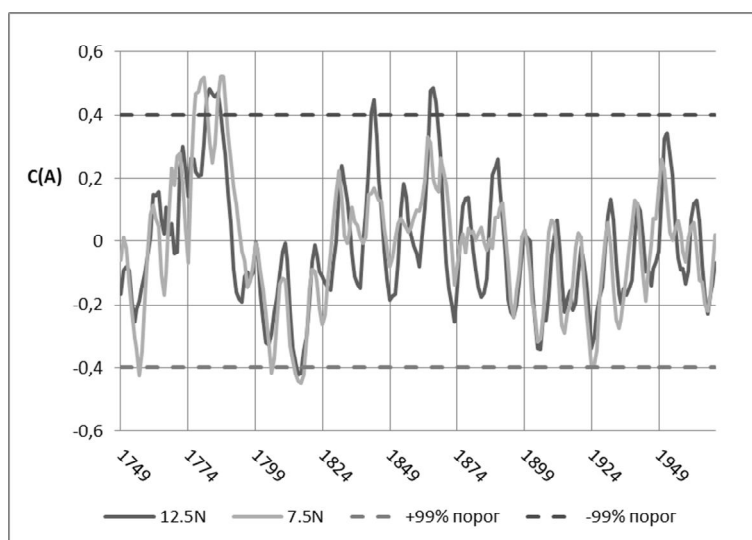


Рис. 3. Фактические изменения в период 1969 по 2008 гг. концентраций хлорофилла в акватории западной части Тихого океана с координатами центра 17.5 °N, 137.5 °E (ряд 1), а также результат их моделирования и прогнозирования на период до 2190 года (ряд 2).

Из рисунка 3 видно, что между фактическими изменениями в период 1969 по 2008 гг. концентраций хлорофилла в акватории западной части Тихого океана с координатами центра 17.5 °N, 137.5 °E, а также результатом их моделирования имеет место удовлетворительное соответствие (коэффициент их парной корреляции +0.822, при 99% пороге достоверной корреляции +0.4). Из него следует также, что до середины XXI века

концентрации хлорофилла А в поверхностном слое рассматриваемой акватории будут возрастать, затем, до конца XXI века снижаться до уровня, превосходящего современный, а далее, до середины XXII века, вновь возрастать.

Аналогичные прогнозы получены и для других акваторий рассматриваемого региона. В качестве примера, на рисунке 4 показаны зависимости от года начала скользящего окна продолжительностью 10 лет, усредненные по нему результаты моделирования и прогнозирования рассматриваемого процесса в районах Тихого океана, с центрами на меридиане 137,5 °E, значения широты которых составляют 7.5 °N, 17.5 °N и 22.5 °N.

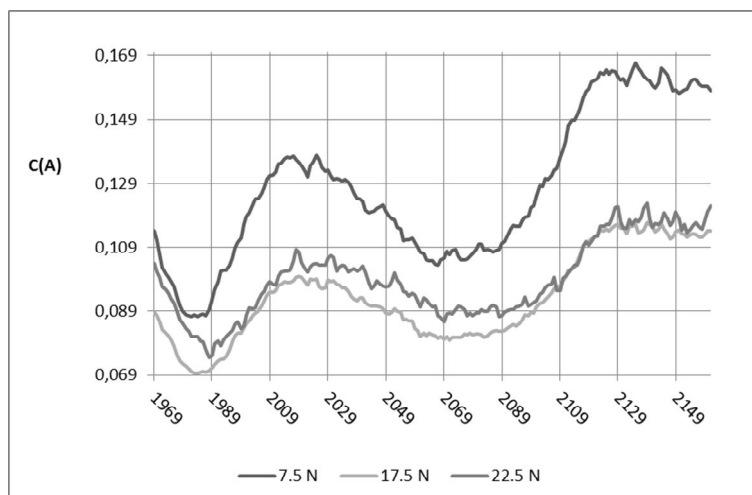


Рис. 4. Зависимости от года начала скользящего окна продолжительностью 10 лет, усредненных по нему результатов моделирования и прогнозирования изменений среднегодовых концентраций хлорофилла А в районах Тихого океана, с центрами на меридиане 137,5 °E, значения широты которых составляют 7.5 °N, 17.5 °N и 22.5 °N.

Из рисунка 4 видно, что во всех рассматриваемых районах западной части Тихого океана, к середине XXI столетия прогнозируется существенное увеличение концентраций хлорофилла А. Подобное явление может возникнуть, если в рассматриваемый период в их поверхностных водах будет происходить увеличение биомассы фитопланктона, организмы особой которого содержат данное вещество. Последнее возможно, если в данных районах будет происходить активизация апвеллинга, выносящего в эти воды биогены, лимитирующие развитие фитопланктона. Причиной подобной активизации может служить уменьшение плотности и солёности субантарктических промежуточных и верхних глубинных вод, участвующих в указанном процессе. Следствием подобной активизации явится усиление охлаждающего воздействия, оказываемого апвеллингом на поверхностные воды, а также уменьшение потоков тепла и водяного пара, отдаваемых ими атмосфере. В результате этого, а также увеличения потока диоксида углерода, ассимилируемого фитопланктоном, несколько ослабнет парниковый эффект, произойдет похолодание климата и снизится повторяемость и разрушительная мощь тайфунов. Аналогичные, но еще более мощные процессы прогнозируются на середину и вторую половину XXII века. Они явятся откликом на повышение солнечной активности во второй половине XX века. На рубеже XXI и XXII веков вероятна новая волна потепления климата, как реакция на снижение солнечной активности на рубеже XIX и XX веков. Поскольку при разработке данного прогноза учитывался временной ряд изменений среднегодовых концентраций хлорофилла А, соответствующий периоду 1969-2008 гг., когда выбросы в атмосферу диоксида углерода из антропогенных и техногенных источников увеличивались, полученный результат соответствует сценарию дальнейшего развития человечества, при котором эти выбросы будут возрастать такими же темпами.

Выводы

Таким образом установлено, что изменения среднегодовых концентрации хлорофилла А в поверхностных водах акваторий западной части тропической зоны Тихого океана действительно существенно зависят от вариаций СВ, опережающих их на 182-192 года. Корреляция этих процессов положительная и ее уровень существенно превосходит 99% порог достоверной корреляции по критерию Стьюдента.

Из разработанного прогноза следует, что вековой и двухвековой циклы солнечной активности порождают совпадающие по фазе циклы в изменениях биомассы фитопланктона в районах Мирового океана, где существенное влияние на его развитие оказывают процессы апвеллинга. При этом не могут не возникать и противоположные по фазе циклы изменения концентрации в атмосфере ассимилируемого им диоксида углерода.

Циклы снижения поверхностных температур подобных районов совпадают по фазе с циклами изменений концентраций в атмосфере CO₂, что способно усиливать как процессы потепления, так и процессы похолодания климата.

Литература

1. Монтеверде Н. А. Исследования над образованием хлорофилла у растений / Н. А. Монтеверде, В. Н. Любименко // Известия Императорской Академии наук. VII серия. — СПб., 1913. — Т. VII. — № 17. — С. 1007–1028
2. Climate Change 2007 – Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to Assessment Report Four of the Intergovernmental Panes of Climate Change (IPCC). Cambridge University Press.- Cambridge. UK, 2007.- 973p.
3. Виноградов А. П. Введение в геохимию океана. М. – Наука. -1967. – 213с.
4. Виноградов М. Е. Фотосинтетическая продукция Мирового океана по спутниковым и экспедиционным данным/ М. Е. Виноградов, Э. А. Шушкина, О. В. Копелевич и др.//Океанология. – 1996. –т.36. - №4. –С.566-575.
5. Киселев И. А. Планктон морей и континентальных водоемов. /И. А. Киселев// Л. Наука. – том 1 - 1969. -657с., том 2 -1980. -439с.
6. Зернова В.В. Распределение фитопланктона в тропической области западной части Тихого океана/ В. В. Зернова// Труды института океанологии. – 1964. – т. 65. –С. 32-48.
7. Семина Г. И. Фитопланктон Тихого океана./ Г. И. Семина// М. – Наука. – 1974. – 239с.
8. Семина Г. И. Биомасса фитопланктона Тихого океана/ Г. И. Семина, В. В. Зернова// Океанология. -1989. – т.29. – вып.4. –С.637-642.
9. Беклемишев К. В. Биогеография океана. 1. Пелагиаль/К. В. Беклемишев, Н. В. Парин, Г. И. Семина// Биологическая структура океана. М. – Наука. – 1977. –С.219-261.
10. Виноградов М. Е. Количественная характеристика населения пелагиали Тихого океана. Продукционный районы и величина первичной продукции фотосинтеза/ М. Е. Виноградов, Э. А. Шушкина// Океанология. -1988. –т.28. -№5. –С.819-827.
11. Беклемишев К. В. География планктонных диатомей высоких и умеренных широт Мирового океана/ К. В. Беклемишев, Г. И. Семина// Тр. Всесоюз. Гидробиол. о-ва. – 1986. – т.27. –С.7.-23.
12. У. Грегг, М. Конкrait. В ключевом элементе цепи питания океанов произошли за последние 20 лет большие изменения.// Geophysical Research Letters. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/3493.html>
13. Холопцев А. В. Тенденции изменения среднегодовых значений поверхностных температур Тихого океана при современном потеплении климата./ А. В. Холопцев, М. П. Никифорова, Т.А.Жукова//Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Том 25(64),- №4. -2012. –С.21-36.
14. Бурков В. А. Общая циркуляция Мирового океана/ В. А. Бурков. – Л. : Гидрометеиздат, 1980. – 254с.
15. Гусев А. М. Антарктида. Океан и атмосфера. — М.: Просвещение, 1983. — 151 с.
16. Холопцев А. В. Прогнозы изменений среднегодовых потоков тепла в атмосферу с поверхностей Тихого, Атлантического и Индийского океанов на период до 2115 г. с учетом вариаций солнечной активности /А.В. Холопцев, М.П. Никифорова// Геополитика и геодинамика. 2013.
17. . Электронный ресурс] – Режим доступа: <ftp://ftp.nodc.noaa.gov/pub/WOD/SELECT/ocldb1357128857.12048.OSD2.csv.gz>
18. ГОСТ17.1.4. 02-90 Методика спектрофотометрического определения хлорофилла -А
19. *Extended time series of Solar Activity Indices* [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.gao.spb.ru/database/esai

20. Айвазян С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики/ С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян – Юнити. – 1998. – 1022с.
21. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. — 3-е изд./ *Норман Дрейпер*, Гарри Смит. // — М.: «Диалектика», 2007. — 912С.

Анотація. А.В. Холопцев, Е.С. Свирина, Т.С. Юсупова **Прогноз змін середньорічних концентрацій хлорофілу А в поверхневих водах акваторій західній частині тропічної зони Тихого океану.** Особливості змін концентрацій хлорофілу А у поверхневих водах західної частини тропічної зони Тихого океану, що спостерігаються у сучасному періоді, дозволяють припускати, що цей процес викликаний зменшенням інтенсивності апвелінгу, який відбувається у них, та являє собою відгук на варіації сонячної активності, котрі передують ним на 182-192 роки.
Ключові слова: середньорічна концентрація, хлорофіл А, Західна частина тропічної зони Тихого океану, фітопланктон, апвелінг, поверхневі води, потепління клімату, сонячна активність.

Abstract. A.V. Holoptsev, E.S. Svirina, T.S. Yusupov **Forecast of changes in mean annual concentrations of chlorophyll A in the surface waters of the western waters of the tropical Pacific.** Features occur in the period 1969-2008 years. changes in chlorophyll-a concentration in surface waters of a number of areas of the tropical western Pacific Ocean, suggest that this process is caused by the decrease of the intensity of upwelling that occurs in them, which is a response to variations in solar activity, preceding them for 182-192 years.
Keywords: mean concentration of chlorophyll a, Western tropical Pacific, phytoplankton, upwelling, surface water, global warming, solar activity

Поступила в редакцію 15.01.2013