

# ВНУТРИГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА НА ПОВЕРХНОСТИ ЮЖНОЙ АТЛАНТИКИ ПО ДАННЫМ TERRA MODIS OCEAN DATA

Ю.В. Артамонов,  
Е.А. Скрипальева, А.В. Шугаев

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail:artam-ant@yandex.ru

На основе среднемесячных значений концентрации хлорофилла “*a*” на поверхности южной части Атлантического океана исследованы особенности ее внутригодовой изменчивости. В работе использованы данные базы *Terra MODIS Ocean Data* за 2001 г. Результаты проанализированы в связи с сезонной изменчивостью характеристик фронтальных зон в поле температуры поверхности океана.

**Введение.** Исследование климатических тенденций в изменении продуктивности вод Мирового океана является составной частью большинства экологических программ [1–4]. Количество контактных измерений биологических параметров пока недостаточно, чтобы достоверно описать их нормальный сезонный цикл и, тем более, исследовать межгодовую изменчивость. В настоящее время стали доступны результаты обобщения спутниковых измерений биооптических характеристик на поверхности морей и океанов [5, 6], выполненные с высокой пространственной дискретностью. Анализ этой информации позволяет существенно расширить наши представления об изменчивости биологических полей в поверхностном слое океана.

В данной работе исследуется сезонная изменчивость температурных фронтов и полей концентрации хлорофилла “*a*” в Южной Атлантике.

**Материалы и методика.** В работе используются значения температуры поверхности океана (ТПО) и концентрации хлорофилла “*a*” (Chl) для 2001 г., полученные на основе карт Атласа *Terra MODIS Ocean Data* [6]. Методика преобразования палитры цветов на картах в численные значения концентрации хлорофилла “*a*” и ТПО в узлы регулярной сетки ( $38 \times 38$  км) приводится в работе [7]. После оцифровки карт были рассчи-

таны среднемесячные поля значений меридиональных градиентов ТПО и концентрации хлорофилла (МГТ и МГChl). Размерность МГТ в  $^{\circ}\text{C}/38$  км и МГChl в  $\text{mg/m}^3/38$  км далее по тексту опускается. Для подавления шумов профиля МГТ и МГChl были сглажены трехточечным фильтром. Положение фронтов определялось по экстремумам МГТ и МГChl на их меридиональных профилях. Идентификация фронтов в поле ТПО проводились согласно методике, изложенной в [8]. Отрицательное значение МГТ (МГChl) показывает уменьшение значений температуры (концентрации хлорофилла) в направлении с севера на юг. Сезонная изменчивость параметров анализировалась для меридиана  $30^{\circ}$  з.д., который пересекает центральную часть Атлантического океана.

**Анализ результатов.** На рисунке 1 представлены широтно-временные распределения меридиональных градиентов температуры и концентрации хлорофилла. В поле ТПО (рис. 1, а) выделены следующие фронты – Южный тропический (ЮТФ), Южная ветвь Южного субэкваториального фронта (ЮВ ЮСБЭФ), Фронт Бразильского течения (ФБТ), Южный субтропический (ЮСБТФ) и его Северная ветвь (СВ ЮСБТФ), Субантарктический (САФ), Антарктический полярный (АПФ), Фронт моря Скотия (ФМС). В широтных пределах этих фронтов прослеживаются экстремумы МГChl, которые идентифицированы нами как фронты в поле концентрации хлорофилла (обозначены римскими цифрами на рис. 1, б). Совместный анализ внутригодового цикла характеристик фронтов в полях температуры и концентрации хлорофилла позволил установить некоторые закономерности их сезонной изменчивости (рис. 2).

Усиление ЮВ ЮСБЭФ происходит с августа по октябрь ( $-0.15$ ). В поле хлорофилла фронт I с отрицательным градиентом, располагающийся несколько севернее, максимально обострен ( $-0.15$ ) также в августе. В период обострения ЮВ ЮСБЭФ наблюдается понижение ТПО и концентраций Chl к северу от нее. Температурный фронт и фронт в поле Chl квазисинхронно смещаются к югу в сентябре-октябре и к северу в феврале-марте. Это соответствует сезонным смещениям Внутритерапической зоны конвергенции и системы тропических фронтов и течений [8]. Наибольшие значения ТПО на оси ЮВ ЮСБЭФ отмечаются с марта по май,

при этом наступление максимальных концентраций Chl на оси фронта I запаздывает на один месяц и наблюдается с апреля по июнь.

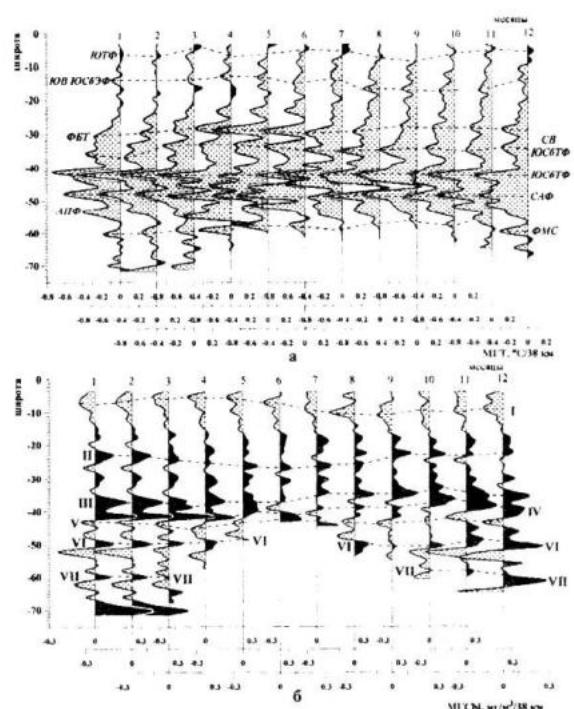


Рисунок 1 – Распределения по широте и месяцам меридиональных градиентов: (а) – поля ТПО (МГТ,  $^{\circ}\text{C}/38 \text{ км}$ ) и положение температурных фронтов, (б) – концентрации хлорофилла “а” (МГChl,  $\text{мг}/\text{м}^3/38 \text{ км}$ ) и положение их экстремумов (римские цифры) вдоль  $30^{\circ}$  з.д.

Между  $22^{\circ}$  и  $27^{\circ}$  ю.ш., несколько севернее ФБТ, прослеживается положительный экстремум МГChl (фронт II). Усиление ФБТ в мае ( $-0.6$ ) сопровождается понижением ТПО и ростом значений концентрации Chl на оси фронта II. Максимум концентрации Chl отмечается в июне, когда фронт II расположен в крайней южной точке ( $27^{\circ}$  ю.ш.). ФБТ и фронт II максимально смещаются на север во второй половине года, когда в результате зимнего охлаждения граница относительно холодных вод умеренных широт сдвигается ближе к субтропикам.

Между  $33^{\circ}$  и  $39^{\circ}$  ю.ш., в зоне СВ ЮСБТФ, также наблюдается положительный экстремум МГChl (фронт III). Этот фронт максимально ослаблен в июне, когда СВ ЮСБТФ обострена ( $-0.4$ ) и усиливается в январе-феврале, когда температурный фронт ослабевает. Понижению ТПО в зоне СВ ЮСБТФ с апреля по август соответствует рост концентрации Chl на оси фронта III.

К северу от ЮСБТФ ( $36$ – $42^{\circ}$  ю.ш.) наблюдается положительный экстремум МГChl (фронт IV), к югу ( $42$ – $45^{\circ}$  ю.ш.) – отрицательный экстремум МГChl (фронт V). Т.е. севернее ЮСБТФ происходит повышение, а к югу – понижение концентраций Chl. Основное усиление ЮСБТФ ( $-0.85$ ) и фронта IV ( $0.3$ ) отмечается в начале года (февраль-март), когда наблюдаются высокие значения ТПО и концентрации Chl. В это время фронт IV занимает крайнее южное положение. Фронт IV смещается к северу зимой-весной Южного полушария. Интенсивность фронта V достигает максимума в декабре. Внутригодовой ход ТПО и Chl на оси ЮСБТФ и фронтов IV и V совпадает – максимум ТПО и Chl наблюдается с января по апрель, минимум в середине года и рост ТПО и Chl с сентября-октября по январь.

В полярных широтах в холодный сезон 2001 г. среднемесячные данные по хлорофиллу отсутствуют, поэтому можно судить только о тенденциях в сезонной изменчивости его концентрации.

Южнее САФ ( $49$ – $51^{\circ}$  ю.ш.) прослеживается положительный экстремум МГChl (фронт VI). В период усиления САФ ( $-0.7$ ) отмечается ослабление фронта VI. Максимум интенсивности фронта VI ( $0.3$ ) наблюдается в декабре, когда САФ ослабевает и происходит резкий рост ТПО и концентраций Chl.

В зоне ФМС ( $58$ – $61^{\circ}$  ю.ш.) отмечается положительный экстремум МГChl (фронт VII). Интенсивность ФМС изменяется с полугодовой периодичностью с максимумами в апреле ( $-0.35$ ) и декабре ( $-0.3$ ). Максимум обострения ( $0.3$ ) в декабре можно отметить и для фронта VII. Оба фронта занимают южное положение в январе, затем постепенно смещаются к северу и достигают крайнего северного положения в ноябре, а в декабре они снова резко смещаются на юг. Внутригодовой ход ТПО и Chl на оси ФМС и фронта VII аналогичен сезонному циклу ТПО и Chl в зонах САФ и фронта VI.

**Заключение.** Выполненный по среднемесячным данным анализ внутригодовой изменчивости характеристик фронтов в полях ТПО и концентрации Chl показал, что самые интенсивные фронты в поле концентраций хлорофилла наблюдаются в пределах температурных фронтов умеренных и полярных широт – Южного субтропического,

Субантарктического, Антарктического полярного и Фронта моря Скотия.

Фронты в поле концентрации Chl, как правило, располагаются или в пределах широтного диапазона или несколько севернее температурных фронтов.

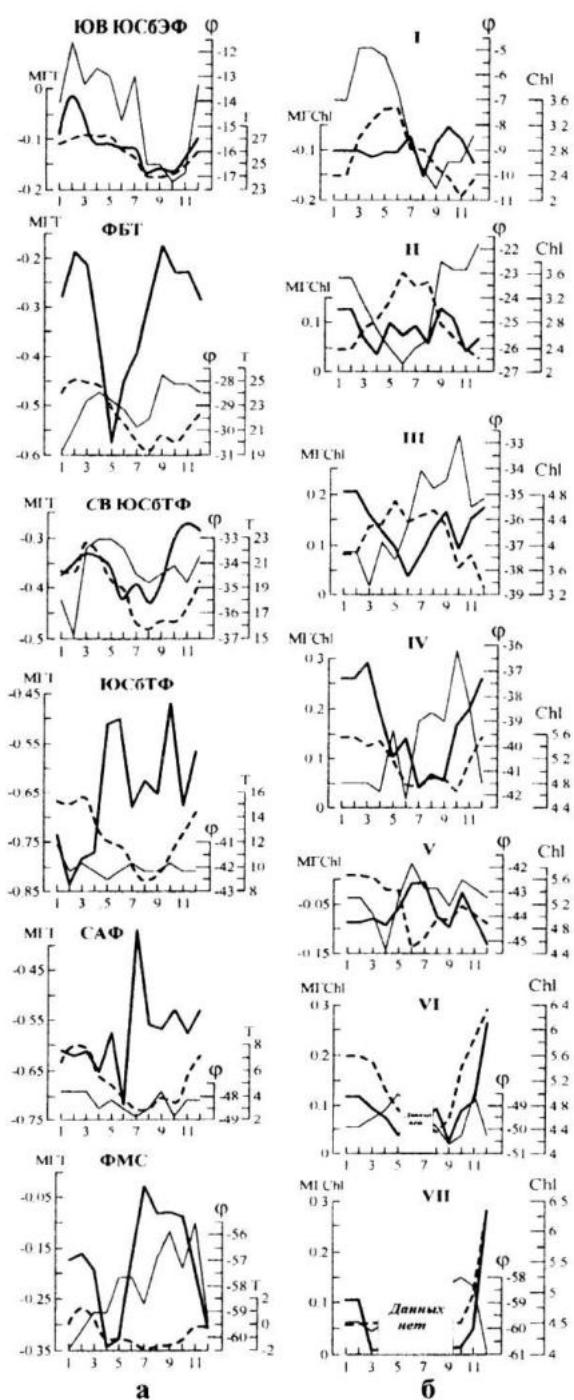


Рисунок 2 Внутригодовой цикл характеристик фронтов в полях ТПО (а) и концентрации Chl (б).

Жирные сплошные линии – величины МГТ и МГChl, тонкие сплошные линии – широтное положение  $\Phi$ , штриховые линии – значения температуры Т и концентрации Chl

Для основных фронтов Южной Атлантики (ЮВ ЮСБЭФ, ЮСБТФ, САФ и ФМС) внутригодовой ход ТПО и Chl качественно совпадает – повышению ТПО соответствует рост концентрации Chl.

В пограничной области между субтропиками и умеренными широтами увеличение температуры в крупномасштабных фронтах (ФБТ и СВ ЮСБТФ) сопровождается уменьшением значений Chl во фронтах II и III.

В полярных широтах наблюдается тенденция к ослаблению фронтов (VI, VII) в поле концентрации хлорофилла в период усиления фронтов (САФ, ФМС) в поле ТПО.

## Литература

1. S.Z. El-Sayed. The biomass program // Oceanus, 1988. – Vol. 31. – № 2. – P. 75–79.
2. Э.З. Самышев, Л.А. Виноградов, Л.П. Фетисов. О реальных значениях первичной продукции в антарктической зоне океана // Океанология, 1987. – Том. 27. – Вып. 2. – С. 301–310.
3. E.J. Murphy, J.L. Watkins, K. Reid *et al.* Interannual variability of the South Georgia marine ecosystem: biological and physical of variation in the abundance of krill // Fish. Oceanogr., 1998. – № 7:3/4. – Р. 381–390.
4. В.И. Веденников, А.Б. Демидов. Первичная продукция и хлорофилл в глубоководных районах Черного моря // Океанология, 1993. – Том 33. – № 2. – С. 229–235.
5. O.V. Kopelevich, V.I. Burenkov, S.V. Sheberstov *et al.* Bio-optical characteristics of the seas of Russia from data of the seawifs satellite ocean color scanner / P.P. Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow, 2005.
6. <http://modis.gsfc.nasa.gov/pub/Data-Sets.-Terra MODIS Ocean Data>, NASA, 2003.
7. Ю.В. Артамонов, А.С. Кукушкин, Е.А. Скрипалева, А.В. Шугаев. Сезонные особенности распределения хлорофилла “а”, показателей поглощения и рассеяния света на поверхности Черного моря // Системы контроля окружающей среды / Сб. науч. трудов МГИ НАН Украины. – Севастополь, 2007. – С. 173–175.
8. Ю.В. Артамонов, Е.А. Скрипалева. Структура и сезонная изменчивость крупномасштабных фронтов Атлантического океана по спутниковым данным // ИЗК, 2005. – № 4. – С. 62–75.