

СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА “А” В ЮЖНОМ ОКЕАНЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Е.А. Скрипалева, А.В. Шугаев

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

На основе среднемесячных данных массива SeaWiFS с 1997 по 2009 гг. исследована сезонная и межгодовая изменчивость концентрации хлорофилла “а” в Южном океане. Результаты проанализированы в связи с изменчивостью полей температуры и солености на поверхности океана и индекса атмосферной циркуляции Южного колебания.

Введение. Важнейшим направлением современных экологических исследований является изучение климатических тенденций в изменении продуктивности вод Мирового океана [1 – 5]. В открытых районах океана количества 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, выполненные с высокой пространственной дискретностью. Анализ этой информации позволяет существенно расширить наши представления об изменчивости биологических полей и выявить ее связь с изменчивостью термохалинной структуры вод. В работе [6] на основе среднемесячных значений концентрации хлорофилла “а” (Chl-a) и температуры поверхности океана (ТПО) за 2001 г. из массива Terra MODIS Ocean Data [7] показано, что в умеренных и полярных широтах Южного океана интенсивные фронты в поле концентрации Chl-a наблюдаются в пределах широтного диапазона температурных фронтов. Установлено, что в период усиления Субантарктического фронта и Фронта моря Скоша в поле ТПО отмечается тенденция к ослаблению фронтов в поле концентрации хлорофилла “а”. В рабо-

тах [8, 9] на основе расчетов среднемесячных климатических значений Chl-a за период с 1998 по 2004 гг. из Атласа [10] и спутниковых измерений Chl-a из массива SeaWiFS [11] исследованы особенности сезонной и межгодовой изменчивости концентрации хлорофилла “а” на поверхности Черного моря. Установлена качественная связь изменчивости Chl-a с глобальными изменениями в системе океан-атмосфера (события Эль-Ниньо, Ла-Нинья), даны количественные оценки связи сезонного цикла Chl-a с сезонной изменчивостью полей температуры (ТПО), солености (СПО) и геострофических течений на поверхности Черного моря.

В данной работе, используя опыт и методологию, изложенные в [6, 8, 9], исследуется климатическая сезонная и межгодовая изменчивость концентрации хлорофилла “а” в открытых районах Южного океана.

Материалы и методика. В работе использовались средние двухнедельные данные концентрации хлорофилла “а” в узлах регулярной сетки $0.13^\circ \times 0.13^\circ$ из массива спутниковых измерений SeaWiFS [11] с 1997 по 2009 гг. Методика обработки данных изложена в работе [12]. Кроме того, использовались среднемесячные значения ТПО из массива NCEP (*National Center for Environmental Prediction*) [13], климатические среднемесячные значения СПО из массива WOA-09 (*World Ocean Atlas, Vol. 2: Salinity, 2010*) [14] в узлах регулярной одноградусной сетки, а также среднемесячные значения индекса Южного колебания (ЮК) [15].

Для исследования сезонной изменчивости концентрации хлорофилла “а” данные [11] были проинтерполированы в узлы регулярной одноградусной сетки со среднемесячным осреднением. Затем в каждом узле регулярной сетки рассчитывались среднемесячные климатические значения Chl-a и ТПО. Далее вычислялись амплитудно-фазовые характеристики полей ТПО, СПО и концентрации Chl-a. Для оценки значимости годовой и полугодовой гармоник поля этих амплитуд были нормированы на стандартное отклонение остаточного ряда. Районы, где уровень полезного сигнала

не превышал в два раза уровень шума, из интерпретации исключены. На картах пространственного распределения годовых амплитуд эти участки акватории заштрихованы. В связи с отсутствием данных о концентрации Chl-a зимой Южного полушария в приантарктической зоне к югу от 50° ю.ш., амплитудно-фазовые характеристики Chl-a, ТПО и СПО южнее 50° ю.ш. не рассматривались.

Для оценки межгодовой изменчивости полей ТПО и концентрации Chl-a в каждом узле регулярной сетки вычислялись среднемесячные аномалии величин ТПО и Chl-a относительно их среднемноголетних значений и линейные тренды Chl-a за период с октября 1997 г. по январь 2009 г. (всего 133 месяца).

Сезонная и межгодовая изменчивость концентрации Chl-a анализировалась также на меридиональных выборках вдоль 140° з.д. и 80° в.д., проходящих через центральные части Тихого и Индийского океанов и вдоль 50° з.д., пересекающего западную часть Атлантики.

Анализ результатов. Распределения среднегодового климатического поля (рис. 1, а) и амплитуды годовой гармоники концентрации Chl-a (рис. 2, а), а также внутригодовой ход Chl-a по фактическим данным вдоль меридианов 140° , 50° з.д. и 80° в.д. (рис. 3) показали, что максимальные величины концентрации Chl-a наблюдаются на прибрежных материковых отмелях, в зонах островных архипелагов (до $5 - 7 \text{ mg/m}^3$) и на участках акватории, прилегающих к устьям крупных рек (до 16 mg/m^3). В тех же районах отмечается и наибольшая сезонная изменчивость Chl-a (до 1.8 mg/m^3). Оценки связей региональных особенностей гидрологического режима, обусловленных прибрежными эффектами, с изменениями Chl-a представляется нами как отдельное исследование, выходящее за рамки данной работы.

В открытых районах Южного океана, несмотря на относительно низкие значения среднегодовой концентрации ($< 0.2 \text{ mg/m}^3$) и амплитуды годовой гармоники Chl-a ($< 0.08 \text{ mg/m}^3$), наблюдается связь пространственного распределения его концентрации с крупномасштабной термохалинной структурой вод.

На среднегодовых распределениях Chl-a (рис. 1, а) четко прослеживаются субтропические антициклонические круговороты по областям минимальных значений концентрации Chl-a ($< 0.05 \text{ mg/m}^3$), которые совпадают с положением областей максимальной солености (рис. 1, б). Здесь же отмечается минимальный годовой сигнал ($< 0.02 \text{ mg/m}^3$) в изменении Chl-a (рис. 2, а).

В экваториальных и умеренных широтах наблюдается фронтальное увеличение среднегодовой концентрации Chl-a ($0.24 - 0.5 \text{ mg/m}^3$) и ее годовых колебаний ($0.08 - 0.20 \text{ mg/m}^3$), приуроченное к зонам действия интенсивных течений. Это ветви Южного пассатного течения, ограничивающие области экваториальных апвеллингов с пониженными величинами ТПО в Тихом и Атлантическом океанах, Южно-Тихоокеанское, Южно-Атлантическое и Южно-Индоокеанское течения и ветви Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) (рис. 1, а, в, г; 2, а).

Величины амплитуды полугодовой гармоники Chl-a в открытых районах океана не превышают 0.02 mg/m^3 . Максимальные значения полугодовых вариаций (до 0.1 mg/m^3) наблюдаются в тех же районах, что и максимумы годовых колебаний.

Анализ фазового поля годовой гармоники показал, что максимум концентрации Chl-a в открытых частях Южного океана наступает зимой и в начале весны Южного полушария (июнь-октябрь).

Более детальную картину внутригодового хода концентрации Chl-a показывают среднемесячные данные, не сглаженные гармоническим анализом (рис. 3). Из рисунка 3 видно, что в фактическом сезонном ходе концентрации Chl-a могут прослеживаться несколько максимумов.

В Тихоокеанском секторе вдоль 140° з.д. (рис. 3, а) рост концентрации Chl-a в тропической зоне наблюдается в августе-октябре, в умеренных широтах и приантарктической области – в декабре-январе и августе-октябре.

В Юго-Западной Атлантике вдоль 50° з.д. (рис. 3, б) увеличение концентрации Chl-a в умеренных широтах про-

исходит в январе, мае, сентябре-ноябре, в полярной зоне – в январе и октябре.

В Индоокеанском секторе Южного океана на 80° в.д. (рис. 3, в) концентра-

ция Chl-а достигает максимума в тропической зоне в июле-августе, в умеренных и полярных широтах – в январе-феврале, мае-июле и ноябре-декабре.

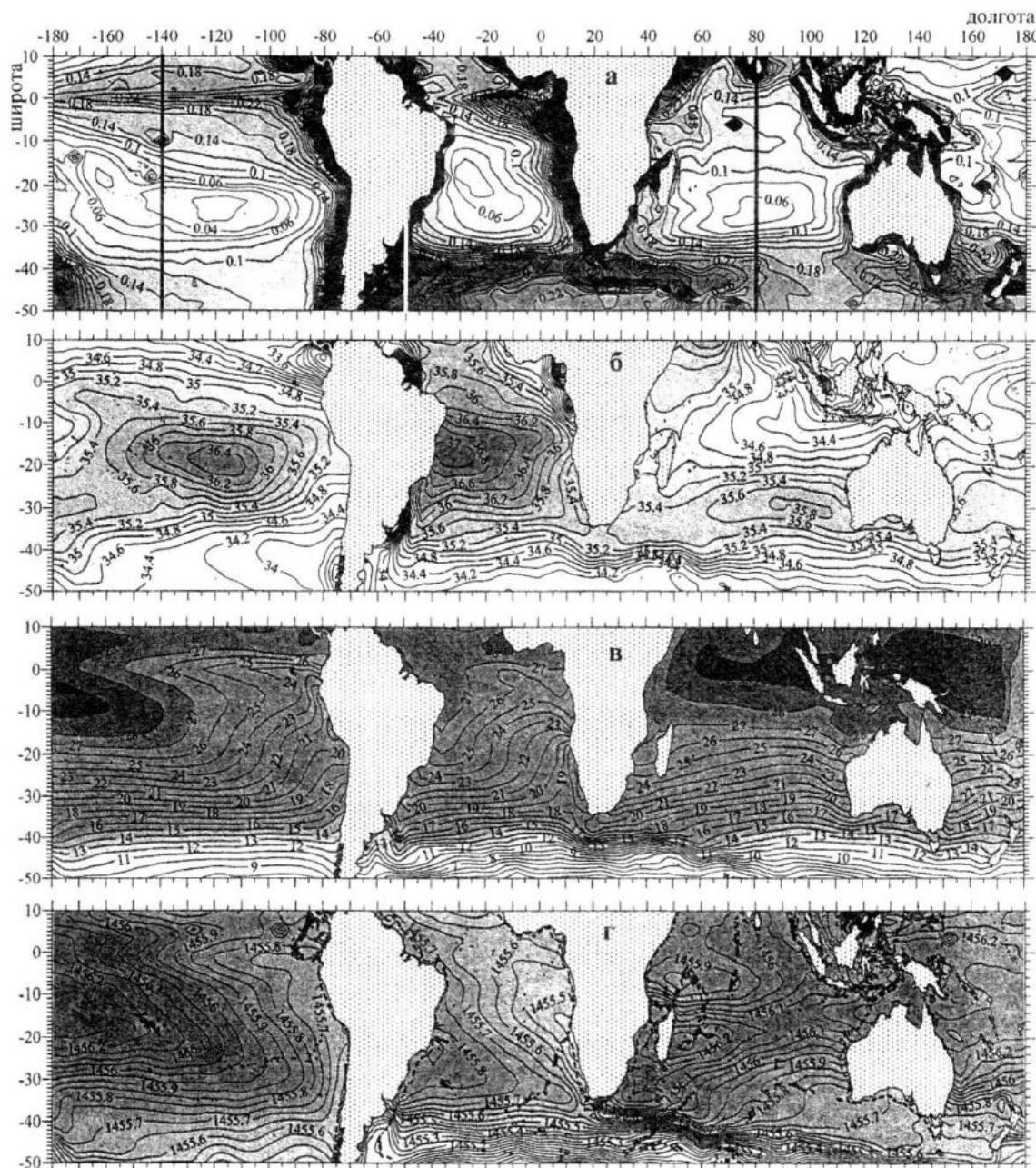


Рис. 1. Среднегодовые распределения концентрации хлорофилла “а” ($\text{мг}/\text{м}^3$) (а), солености (%) (б), температуры ($^{\circ}\text{C}$) (в) и динамической топографии 0/1500 м (дин. см) (г) на поверхности океана. Жирные линии на рис. 1, а – положение меридианов, вдоль которых рассматривалась сезонная и межгодовая изменчивость Chl-а. Штриховая линия на рис. 1, г – изобата 1500 м

Анализ внутригодовой изменчивости концентрации Chl-а выявил хорошее совпадение широтного положения зон резкого увеличения концентрации Chl-а (на рис. 3 они обозначены штриховыми линиями) с положением крупномасштабных фронтов в поле ТПО по дан-

ным спутниковых измерений: Южного тропического и его Южной ветви, Южного субтропического, Субантарктического, Антарктического полярного фронтов и Фронта Южной ветви Антарктического циркумполярного течения [16 – 18].

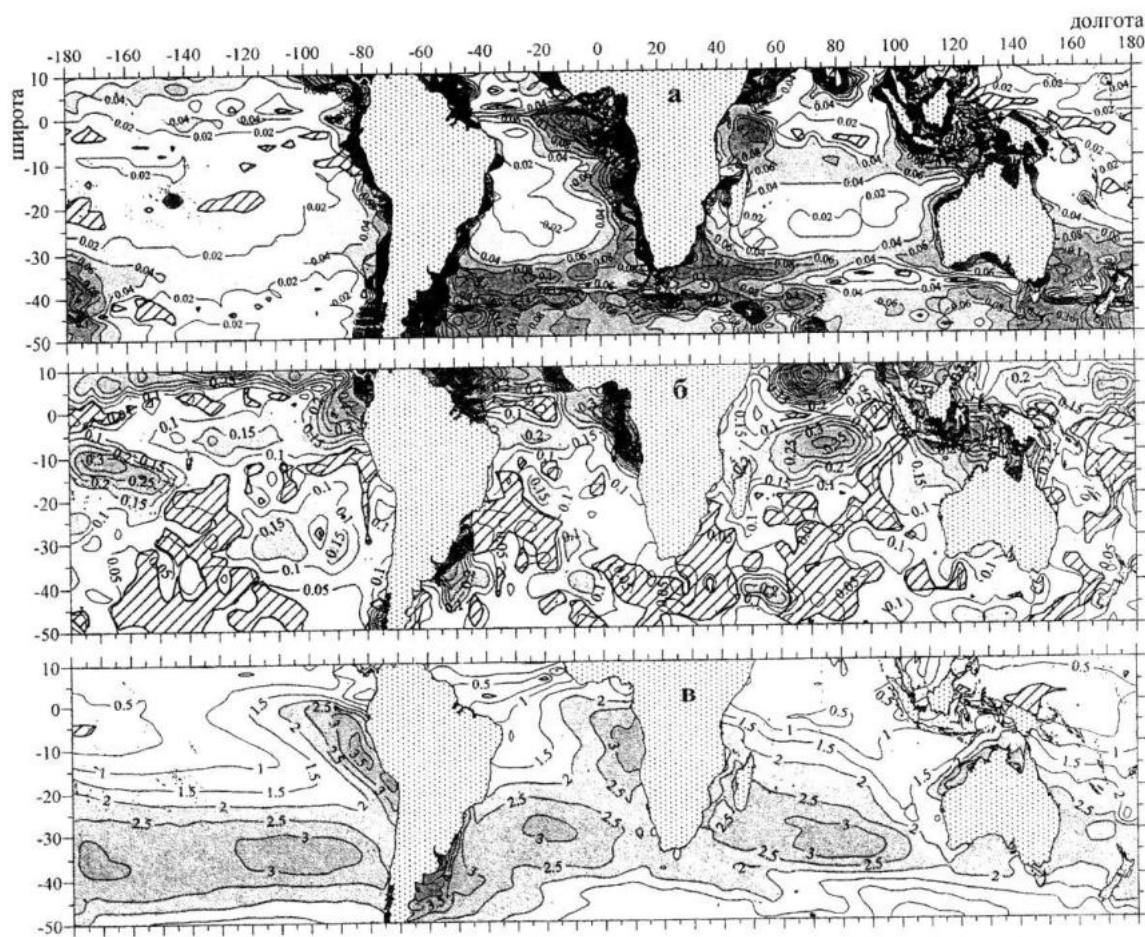


Рис. 2. Пространственные распределения амплитуд годовых гармоник концентрации Chl-a на поверхности океана ($\text{мг}/\text{м}^3$) (а), СПО (%) (б) и ТПО ($^{\circ}\text{C}$) (в)

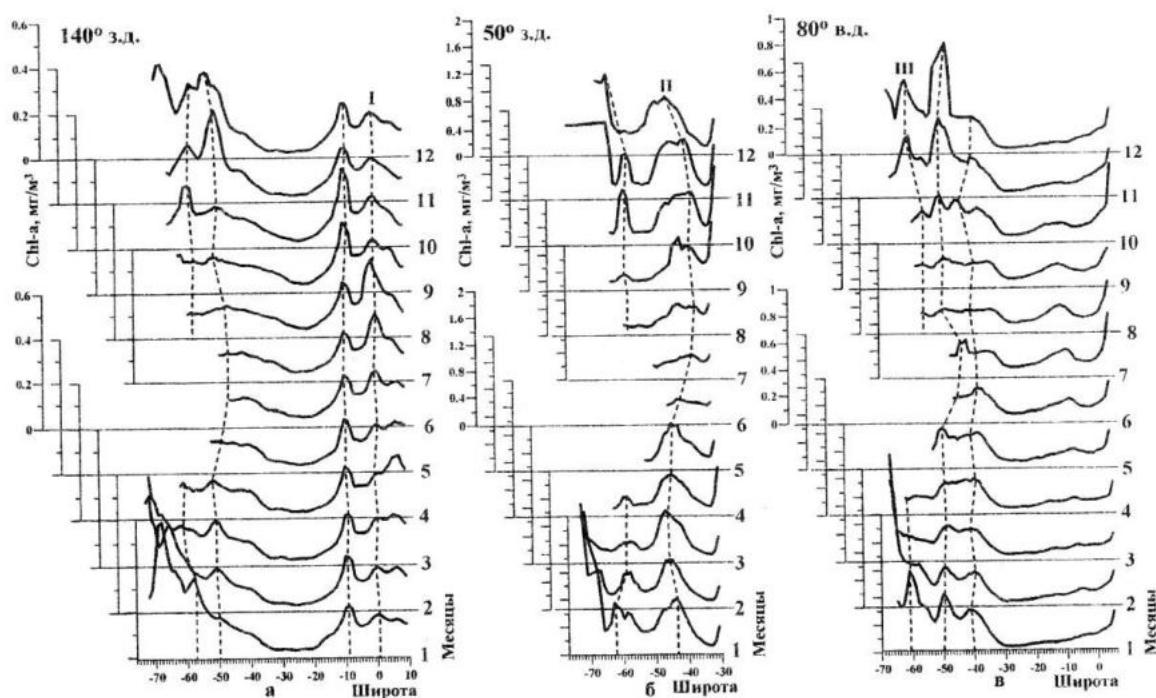


Рис. 3. Внутригодовое распределение среднемесячных климатических величин концентрации Chl-a и широтное положение их максимумов (штриховые линии) вдоль меридианов 140° з.д. (а), 50° з.д. (б) и 80° в.д. (в)

На рис. 4 представлены примеры внутригодового хода максимумов концентрации Chl-a, отмеченных на рис. 3 римскими цифрами, и характеристик соотвествующих фронтов в поле ТПО по спутниковым данным [16 – 18].

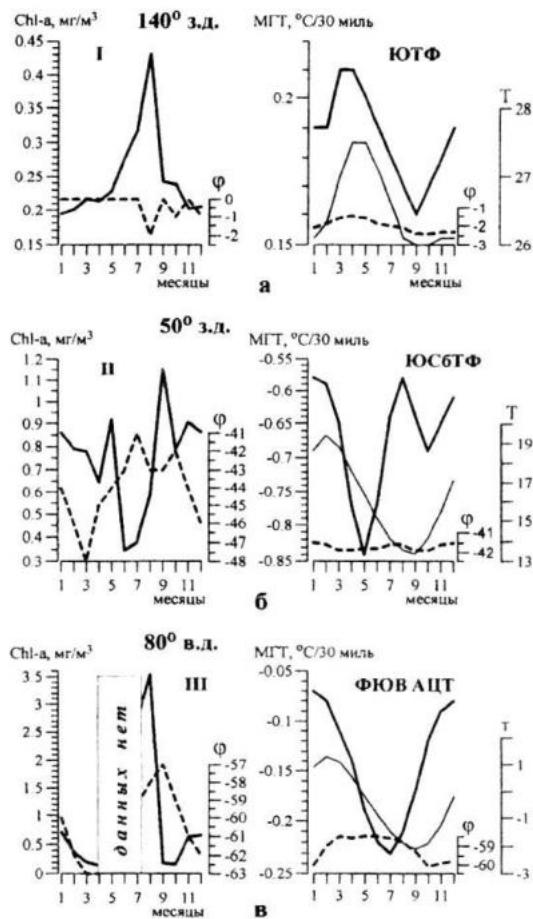


Рис. 4. Внутригодовой цикл характеристик фронтов в поле ТПО по данным [16 – 18] (справа) и максимумов концентрации Chl-a (слева) на 140° з.д. (а), 50° з.д. (б) и 80° в.д. (в). Жирные сплошные линии – величины МГТ и Chl-a, штриховые линии – широтное положение ϕ , тонкие сплошные линии – значения температуры T на оси фронта

Экстремум I на меридиане 140° з.д. (рис. 3, а) прослеживается в пределах широтного диапазона Южного тропического фронта (ЮТФ) (рис. 4, а).

Экстремум II на 50° з.д. (рис. 3, б) – в районе Южного субтропического фронта (ЮСБТФ) (рис. 4, б).

Экстремум III на 80° в.д. (рис. 3, в) – в области Фронта Южной ветви АЦТ (ФЮВ АЦТ) (рис. 4, в).

Отметим некоторые закономерности сезонного цикла интенсивности фронтов

(величины меридионального градиента температуры МГТ) и значений концентрации Chl-a. Между величиной МГТ для ЮТФ и концентрации Chl-a выявлена значимая на 95%-ном уровне обратная корреляционная зависимость (коэффициент корреляции $R \sim -0.5$), т.е. увеличение концентрации Chl-a в зоне ЮТФ наблюдается в период ослабления фронта (август–сентябрь).

Для ЮСБТФ и ФЮВ АЦТ отмечается прямая зависимость между величинами МГТ и Chl-a – увеличение концентрации Chl-a происходит в период обострения этих фронтов (рис. 4).

Количественные оценки связи среднемесечных распределений Chl-a, ТПО и СПО вдоль 140°, 50° з.д. и 80° в.д. показали, что наиболее тесные значимые на 95%-ном уровне корреляционные связи наблюдаются между концентрацией Chl-a и СПО (рис. 5).

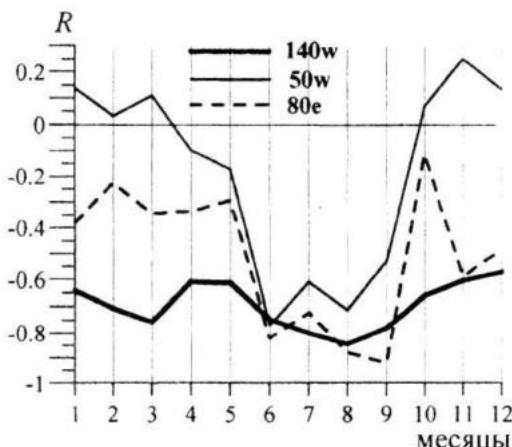


Рис. 5. Внутригодовой ход коэффициентов корреляции между климатическими среднемесечными величинами Chl-a и СПО вдоль меридианов 140° з.д. (жирная сплошная линия), 50° з.д. (тонкая сплошная линия), 80° в.д. (штриховая линия)

Максимальные по абсолютной величине значения R (~ -0.8 – -0.9) отмечаются с июня по сентябрь, т.е. в период увеличения концентрации Chl-a во внутригодовом цикле.

Для центральных открытых частей Тихоокеанского (140° з.д.) и Индоокеанского (80° в.д.) секторов Южного океана для всех месяцев наблюдается обратная корреляция, т.е. увеличению концентрации Chl-a соответствует понижение солености поверхностных вод.

Юго-западная часть Атлантики (50° з.д.) характеризуется сложными орографическими условиями, что приводит к более сложному характеру корреляционной связи между СПО и Chl-a. Здесь обратная корреляционная зависимость отмечается с апреля по сентябрь. В конце осени и летом Южного полушария наблюдается прямая корреляция, при этом величины R не превышают 0.2.

Пространственное распределение линейных трендов концентрации Chl-a за период с октября 1997 г. по январь 2009 г. (рис. 6, а) показало, что их величины максимальны и достигают $0.5 - 1 \text{ мг}/\text{м}^3/133 \text{ мес.}$ на прибрежных материковых отмелях, в зонах островных архипелагов и на приустьевых участках акватории.

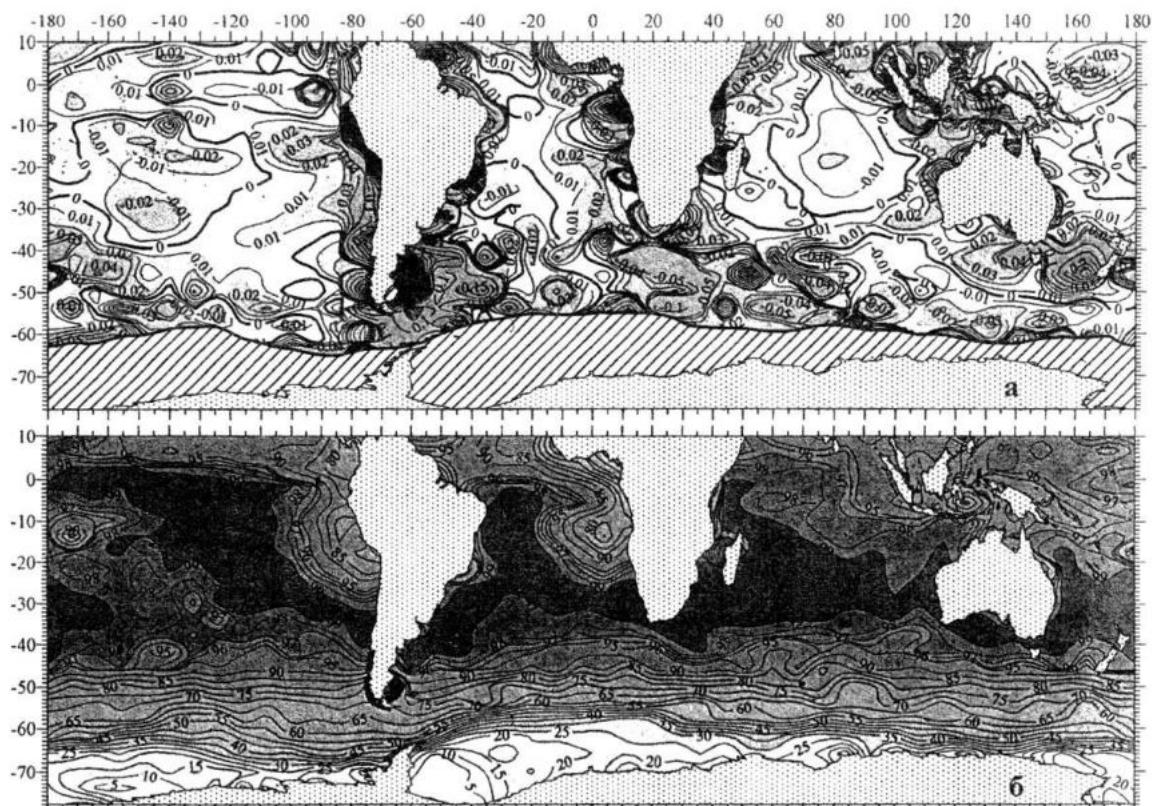


Рис. 6. Пространственное распределение линейных трендов концентрации Chl-a за период с октября 1997 г. по январь 2009 г. ($\text{мг}/\text{м}^3/133 \text{ мес.}$) (а) и обеспеченность временных рядов в каждом узле сетки в процентах (б)

В областях южных субтропических антициклических круговоротов тренды в основном отрицательны, их величины существенно уменьшаются и не превышают $0.02 \text{ мг}/\text{м}^3/133 \text{ мес.}$

В умеренных широтах наблюдаются преимущественно положительные тренды (до $0.05 \text{ мг}/\text{м}^3/133 \text{ мес.}$).

В области Антарктического циркумполярного течения тренды в основном отрицательны (до $0.04 - 0.05 \text{ мг}/\text{м}^3/133 \text{ мес.}$). Исключение составляет пролив Дрейка и юго-западная часть Атлантики, где наблюдаются высокие положительные тренды Chl-a (до $0.2 \text{ мг}/\text{м}^3/133 \text{ мес.}$).

В приантарктической зоне, где обеспеченность данными составляет менее 60% (рис. 6, б), тренды концентрации Chl-a статистически недостоверны и не анализировались. На рис. 6, а эта область заштрихована.

Временные реализации среднемесячных величин аномалий концентрации Chl-a и значений индекса Южного колебания за период с 1997 по 2009 гг. также показали, что максимальная межгодовая изменчивость Chl-a наблюдается в прибрежных областях и в зонах островных архипелагов (рис. 7, 8). При этом в периоды экстремальных значений индекса

ЮК величины концентрации Chl-a в этих районах могут изменяться на порядок и более.

Так, в течение интенсивных Эль-Ниньо 1997 – 1998 и 2006 – 2007 гг. на южной периферии моря Скоша (рис. 7, а, в) отмечено значительное увеличение

концентрации Chl-a (до 5 – 7 $\text{мг}/\text{м}^3$), тогда как в годы со значениями индекса ЮК, близкими к нулю, они не превышали 0.3 – 0.5 $\text{мг}/\text{м}^3$. В период Эль-Ниньо 2002 – 2005 гг. здесь наблюдались отрицательные аномалии концентрации Chl-a (до 0.25 $\text{мг}/\text{м}^3$).

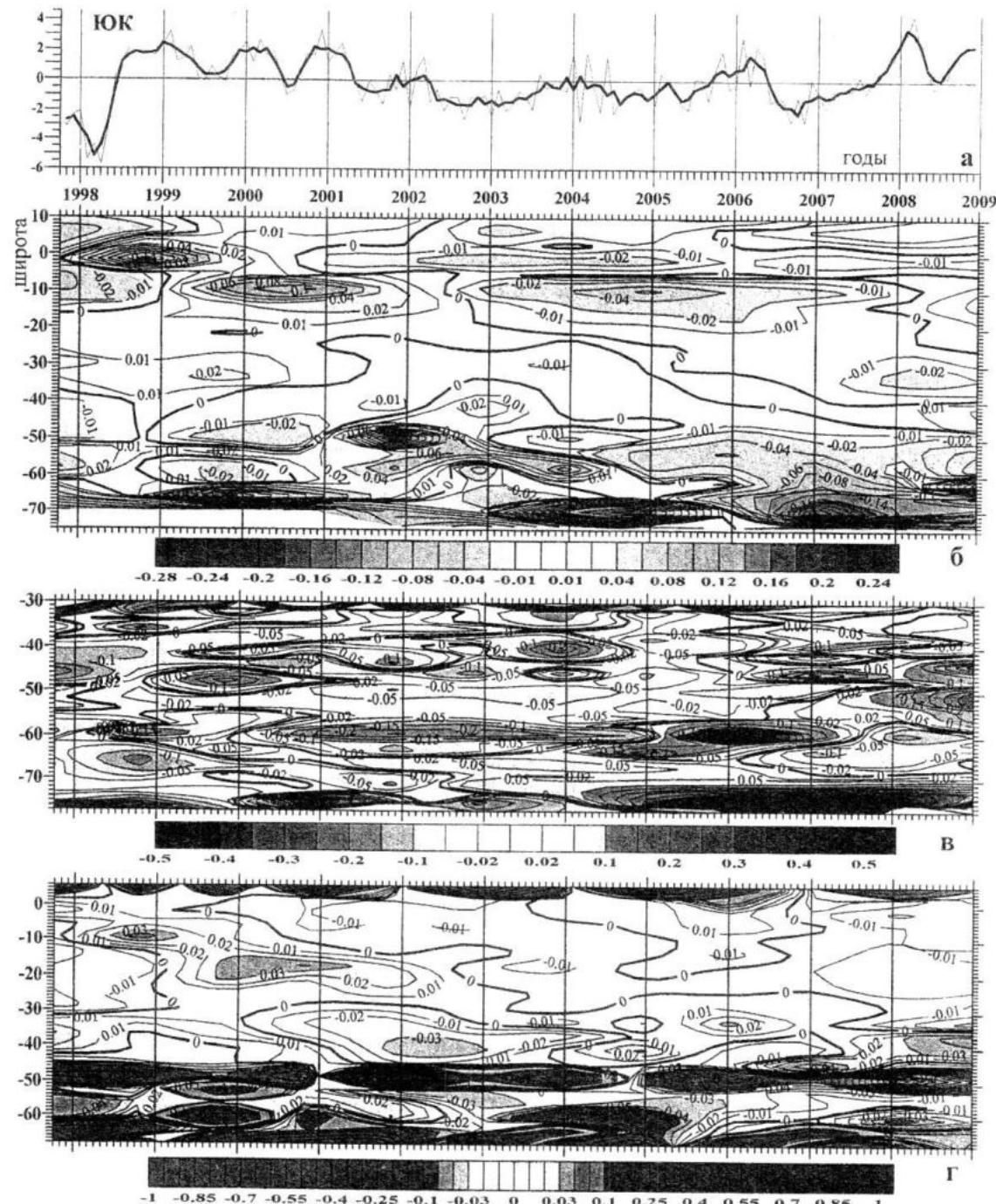


Рис. 7. Межгодовой ход индекса Южного колебания (а) (жирная линия – сглаживание скользящим средним по 12 месяцам) и аномалий Chl-a вдоль 140° з.д. (б), 50° з.д. (в), 80° в.д. (г)

В море Уэдделла в период Эль-Ниньо 1997 – 1998 гг. прослеживались отрицательные аномалии концентрации

Chl-a (до 0.2 $\text{мг}/\text{м}^3$), а в течение Эль-Ниньо 2006 – 2007 гг. – мощные положительные аномалии (до 5 $\text{мг}/\text{м}^3$).

В центральных частях Тихого (140° з.д.) и Индийского (80° в.д.) океанов уровень межгодовой изменчивости концентрации Chl-a ниже, чем в юго-западной части Атлантики, значения аномалий Chl-a по абсолютной величине не превышают $0.25 \text{ мг}/\text{м}^3$ (рис. 7, б, г). Тем не менее, в тропических и полярных широтах этих океанов прослеживаются некоторые общие закономерности изменчивости Chl-a и индекса ЮК.

В периоды отрицательной фазы ЮК (события Эль-Ниньо) в тропических зонах Тихого и Индийского океанов наблюдались отрицательные аномалии концентрации Chl-a, в полярных – преимущественно положительные.

На рис. 8. представлены пространственные особенности полей аномалий ТПО и концентрации Chl-a для двух противоположных фаз ЮК (события Эль-Ниньо 1997 – 1998 гг. и Ла-Нинья 2000 – 2001 гг.).

В период мощной положительной аномалии ТПО в тропической зоне Тихого океана в феврале 1998 года (отрицательная фаза ЮК) в этом районе наблюдались отрицательные аномалии Chl-a (рис. 8, а, б).

Аналогичная картина прослеживалась в тропических зонах Атлантического и Индийского океанов. Отрицательным аномалиям ТПО в субтропиках Тихого океана соответствовали слабые положительные аномалии Chl-a. В умеренных и полярных широтах Южного океана в зоне АЦТ, также как и в тропиках, отмечалось преобладание отрицательных аномалий Chl-a в зонах положительных аномалий ТПО.

В период интенсивного Ла-Ниньи в феврале 2001 года (положительная фаза ЮК) в рассмотренных районах наблюдалась тенденция к смене знаков аномалий ТПО и Chl-a на противоположные (рис. 8, в, г). Отмеченные тенденции позволяют судить о качественной связи этих параметров.

Заключение. На основе данных спутниковых измерений из массива *SeaWiFS* за период с 1997 по 2009 гг. исследованы особенности климатической сезонной и межгодовой изменчивости концентрации хлорофилла “а” на поверхности Южного океана.

Показано, что наибольшая сезонная и межгодовая изменчивость концентрации Chl-a наблюдается на прибрежных материковых отмелях, в зонах островных архипелагов и на участках акватории, прилегающих к устьям крупных рек. В этих районах на сезонном и межгодовом масштабах величины Chl-a могут изменяться на порядок и более.

Показано, что в открытых районах океана прослеживается связь пространственного распределения и сезонного цикла концентрации Chl-a с крупномасштабной термохалинной структурой вод. Фронтальное увеличение среднегодовой концентрации Chl-a и ее годовых колебаний в экваториальных и умеренных широтах Южного океана наблюдается в зонах интенсивных течений – ветвей Южного пассатного течения, Южно-Тихоокеанского, Южно-Атлантического и Южно-Индоокеанского течений и ветвей Антарктического циркумполярного течения.

Наиболее тесные корреляционные связи наблюдаются между концентрацией Chl-a и СПО. В открытых частях Тихоокеанского и Индоокеанского секторов Южного океана увеличение концентрации Chl-a происходит в период понижения солености поверхностных вод. Максимальные значения коэффициента корреляции отмечаются с июня по сентябрь, в период увеличения концентрации Chl-a во внутригодовом цикле.

Выявлено хорошее совпадение широтного положения зон резкого повышения концентрации Chl-a с положением крупномасштабных фронтов в поле ТПО: Южного тропического и его Южной ветви, Южного субтропического, Субантарктического, Антарктического полярного фронтов и Фронта Южной ветви Антарктического циркумполярного течения.

Увеличение концентрации Chl-a в тропической зоне наблюдается в период ослабления Южного тропического фронта, в умеренных и полярных широтах – в период обострения Южного субтропического фронта и Фронта Южной ветви АЦТ.

Показано, что линейные тренды концентрации Chl-a за период с октября 1997 г. по январь 2009 г. в областях юж-

ных субтропических антициклонических круговоротов и в зоне Антарктического циркумполярного течения в основном отрицательны, за исключением пролива Дрейка и юго-западной части Атланти-

ки, где наблюдаются высокие положительные тренды.

В умеренных широтах Южного океана тренды преимущественно положительные.

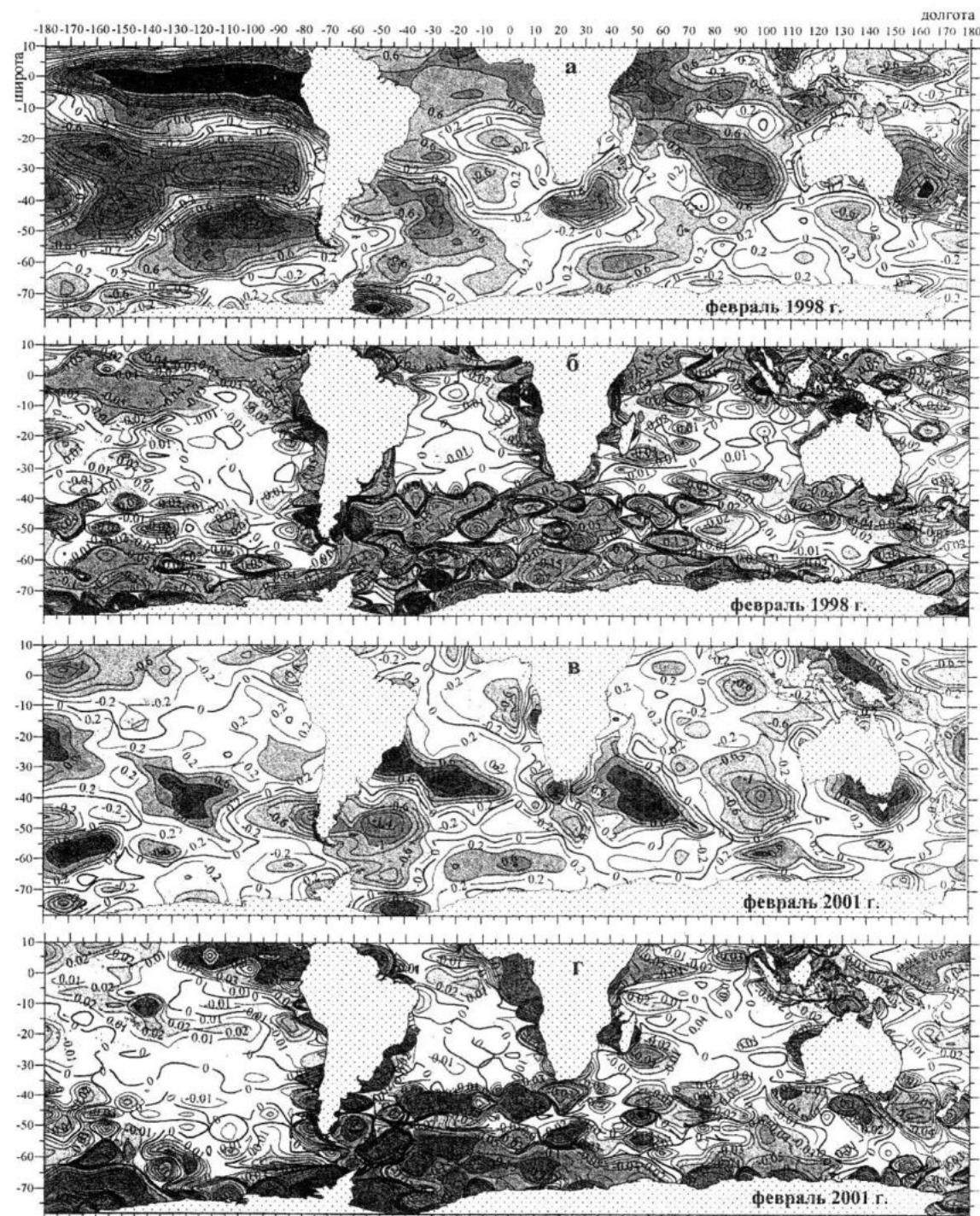


Рис. 8. Пространственные распределения аномалий ТПО (а, в) и концентрации Chl-a (б, г) в феврале 1998 г. (а, б) и феврале 2001 г. (в, г)

Выявлены некоторые общие закономерности межгодовой изменчивости концентрации Chl-a, ТПО и индекса ЮК.

В периоды отрицательной фазы ЮК (Эль-Ниньо) в тропических зонах наблюдалась отрицательные аномалии

Chl-a и положительные аномалии ТПО. Отрицательным аномалиям ТПО в субтропиках Тихого океана соответствовали слабые положительные аномалии Chl-a. В умеренных и полярных широтах Южного океана в зоне АЦТ, также как и в тропиках, отмечалось преобладание отрицательных аномалий Chl-a в зонах положительных аномалий ТПО. В период положительной фазы ЮК (Ла-Нинья) в рассмотренных районах наблюдалась тенденция к смене знаков аномалий ТПО и Chl-a на противоположные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *El-Sayed S.Z.* The BIOMASS program // Oceanus, 1988. – № 31. – № 2. – Р. 75 – 79.
2. *Кобленц-Мишке О.И., Веденников В.И.* Первичная продукция // Биологическая продуктивность океана. Биология океана. – М.: Наука, 1993. – 2. – С. 183 – 209.
3. *Самышев Э.З., Соколов Б.Г., Василенко В.И.* Биомасса и запасы криля в районах атлантической части Антарктики // Бюллентень УАЦ. – 2000. – № 3. – С. 226 – 230.
4. *Зернова В.В., Демидов А.Б.* Фитопланктон и хлорофилл в прибрежной Антарктике // Арктика и Антарктика. – М.: Наука, 2002. – Вып. 1(35). – С. 212 – 220.
5. *Масленников В.В.* Климатические колебания и морская экосистема Антарктики. – М.: ВНИРО, 2003. – 295 с.
6. *Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Шугаев А.В.* Внутригодовая изменчивость концентрации хлорофилла на поверхности Южной Атлантики по данным эксперимента МОДИС // Системы контроля окружающей среды / Средства и информационные технологии. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2009. – С. 253 – 255.
7. <http://modis.gsfc.nasa.gov/pub/DataSets>. – Terra MODIS Ocean Data, NASA, 2003.
8. *Артамонов Ю.В., Белокопытов В.Н., Скрипалева Е.А., Шугаев А.В.* Особенности сезонной изменчивости биооптических характеристик в крупномасштабных циклонических круговоротах Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. – Вып. 18. – С. 305 – 318.
9. *Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Шугаев А.В.* Сезонная и межгодовая изменчивость распределения хлорофилла “а” на поверхности Черного моря по данным SeaWiFS // Системы контроля окружающей среды / Средства и информационные технологии. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2010. – Вып. 14 – С. 129 – 134.
10. *Kopelevich O.V., Burenkov V.I., Sheberstov S.V., Lukyanova E.A., Prokhorenko O.V.* 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.
11. <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS>.
12. *Суслин В.В., Чурилова Т.Я., Сосик Х.М.* Региональный алгоритм расчёта концентрации хлорофилла “а” в Чёрном море по спутниковым данным SeaWiFS // МГЖ. – VII. – № 2. – 2008. – С. 24 – 42.
13. <http://nomad1.ncep.noaa.gov>.
14. <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/ind-prod.html>.
15. http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrel_indices.html.
16. *Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Бабий М.В., Галковская Л.К.* Сезонная и межгодовая изменчивость гидрологических фронтов Южного океана // УАЖ. – 2009. – № 8. – С. 147 – 158.
17. *Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А.* Структура и сезонная изменчивость крупномасштабных фронтов Атлантического океана по спутниковым данным // ИЗК. – 2005. – № 4. – С. 62 – 75.
18. *Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А.* Сезонная изменчивость крупномасштабных фронтов восточной части Тихого океана по спутниковым данным // ИЗК. – 2008. – № 4. – С. 45 – 61.