

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ФРОНТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Ю.В. Артамонов, Е.А. Скрипальева

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
e-mail: ocean@mhi2.sebastopol.ua

На основе спутниковых измерений температуры поверхности Черного моря (ТПМ) за период с 1986 по 2002 гг. исследована межгодовая изменчивость характеристик температурных фронтов, проанализированы корреляционные связи между аномалиями характеристик фронтов и индексами атмосферной циркуляции САК (Северо-Атлантическое колебание) и ЮК (Южное колебание).

Введение. В настоящее время в связи с изменениями климата все большую актуальность приобретают исследования межгодовой изменчивости различных гидрофизических полей [1–5]. Важнейшим показателем, характеризующим изменчивость поля температуры Мирового океана, являются крупномасштабные гидрологические фронты. Выявление особенностей их межгодовой изменчивости и ее связи с атмосферной циркуляцией важно для понимания региональных закономерностей формирования и изменения климата океана, что, в свою очередь, необходимо для решения целого комплекса экологических и природоохранных проблем, в том числе и для совершенствования методов промыслового прогнозирования и рационального использования водных ресурсов.

Контактные гидрологические данные, традиционно используемые для исследования структуры вод Черного моря, имеют значительные пространственно-временные пропуски, что затрудняет проведение оценок ее межгодовой изменчивости. Использование многолетних рядов спутниковых измерений температуры поверхности моря (ТПМ), равномерно обеспеченных по пространству и времени, позволяет оценить сезонную и межгодовую изменчивость поля ТПМ [4, 5], а также описать структуру и особенности сезонной изменчивости крупномасштабных температурных фронтов на

поверхности Черного моря [6]. Вместе с тем межгодовая изменчивость фронтальной системы Черного моря изучена слабо.

Цель настоящей работы – на основе спутниковых данных исследовать межгодовую изменчивость температурных фронтов на поверхности Черного моря.

Материалы и методика. В работе использован массив спутниковых измерений ТПМ за период с 1986 по 2002 гг. со среднемесячным осреднением в узлах сетки 18×18 км из архива *A VHRR Ocean Pathfinder Data JPL NOAA/NASA*.

Рассматривались фронты с преобладающей зональной протяженностью, поэтому для их анализа были рассчитаны поля горизонтальных меридиональных градиентов температуры поверхности моря (МГТ).

Выделение и идентификация фронтов проводились по методике, изложенной в работе [6].

Для оценки межгодовой изменчивости характеристик фронтов для 204 месяцев определялись величина экстремума МГТ, средняя температура на оси фронта и значение широты, на которой наблюдался фронт. Далее рассчитывались среднегодовые и среднемесячные аномалии этих характеристик относительно среднего за 204 месяца. Затем были рассчитаны кросскорреляционные функции между аномалиями характеристик фронтов и индексами атмосферной циркуляции ЮК (Южное колебание) и САК (Северо-Атлантическое колебание).

В данной работе представлены результаты анализа межгодовой изменчивости характеристик фронтов для меридиана 34° в.д., который пересекает центральную часть моря.

Анализ результатов. Согласно [6], в климатическом среднегодовом поле ТПМ в центральной части Черного моря (34° в.д.) выделены три крупномасштабных фронта (рисунок 1). Южнее Крыма в зоне Основного Черноморского течения (ОЧТ) прослеживается *Северо-восточный фронт (СВФ)*. Над глубоководной частью моря между 42° и 44° с.ш. наблюдается *Фронт глубоководной части Черного моря (ФГЧМ)*. Вдоль Анатолийского побережья на южной периферии ОЧТ проходит *Анатолийский фронт (АФ)*.

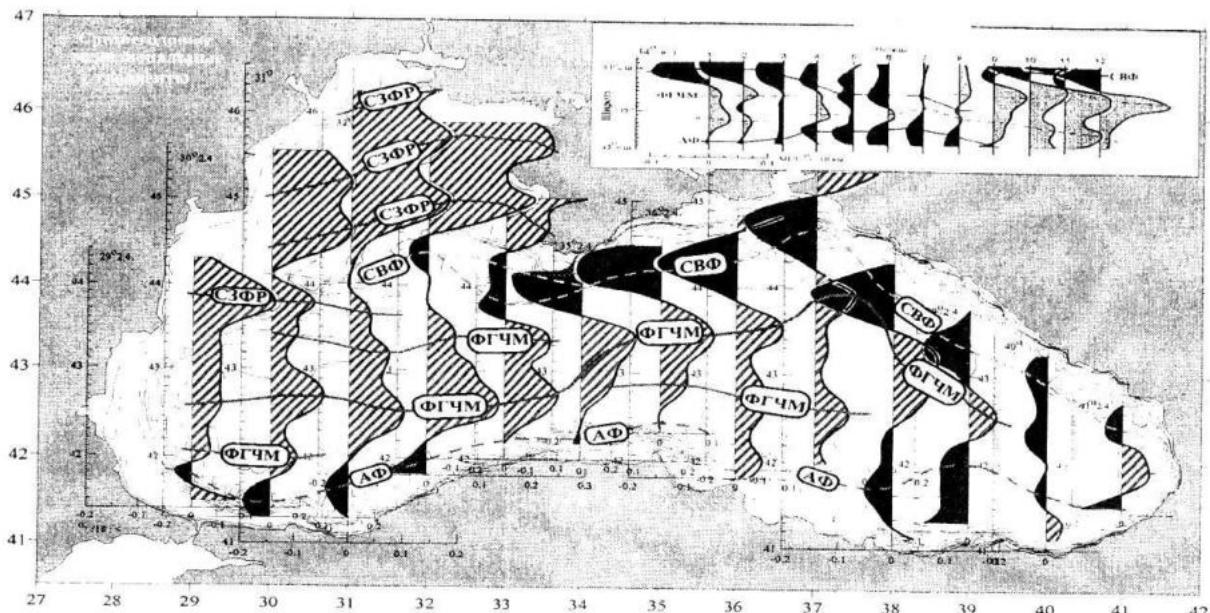


Рисунок 1 – Среднегодовое распределение МГТ на поверхности Черного моря и положение основных температурных фронтов. Отрицательные градиенты выделены черным цветом, положительные – штриховкой. На врезке – сезонные изменения МГТ вдоль 34° в.д.

Анализ климатического сезонного цикла фронтов, выполненный в [6], показал, что Северо-восточный фронт и Фронт глубоководной части Черного моря обостряются преимущественно в осенне-зимний период (ноябрь-январь). Анатолийский фронт наиболее развит в конце весны и начале лета (май-июнь). В июле-августе наблюдается ослабление всей фронтальной системы Черного моря. Пример сезонной изменчивости экстремумов МГТ и соответствующих им фронтов в центральной части Черного моря представлен на врезке рисунка 1. Максимальные внутригодовые изменения характеристик фронтов на 34° в.д. составляют для величины градиента 0.60 °C/18 км, для температуры 18–19 °C, для широтного смещения 54 км.

Временные реализации среднемесячных аномалий характеристик фронтов за период с 1986 по 2002 гг. показывают, что фронты подвержены значительной межгодовой изменчивости. Это проявляется в нарушении нормального сезонного цикла, изменениях интенсивности (величины градиента), широтного положения и температурного диапазона фронтов. Во времена наступления максимальной обостренности фронтов может наблюдаться сдвиг относительно экстремальных значений индексов САК и ЮК. Например, в 1990 и 1995 гг. ФГЧМ усиливался в апреле, тогда как в климатическом

сезонном цикле он обостряется в декабре. В эти годы максимальные положительные значения индекса САК отмечались в феврале, т.е. на два месяца раньше, чем усиление фронта. Экстремальные отрицательные значения ЮК в 1990 г. отмечались в феврале, а в 1995 г. в апреле.

В 1989 и 1999 гг. наблюдались высокие среднегодовые положительные значения индексов САК (1989 г.) и ЮК (1999 г.), при этом СВФ обострялся не зимой, согласно нормальному сезонному циклу, а в июне в 1989 г. и апреле в 1999 г.

Нарушение сезонного цикла в периоды экстремальных значений САК и ЮК отмечается и для Анатолийского фронта. Время обострения АФ сместилось с мая-июня на сентябрь-октябрь в периоды Эль-Ниньо 1991–1995 и 2002 гг. и на январь-февраль в период Ла-Ниньи 2000 г.

В годы, когда наблюдалось уменьшение абсолютных значений индексов САК и ЮК, сезонный цикл фронтов был близок к климатической норме, при этом сохранялось общее ослабление фронтальной системы Черного моря в конце летнего периода.

В целом, анализ временных реализаций среднегодовых значений ЮК и САК и аномалий характеристик фронтов позволил выявить следующую тенденцию (рисунок 2). В годы экстремальных значений индексов ЮК и САК отмечаются экстремальные зна-

чения аномалий характеристик фронтов. Межгодовые вариации интенсивности фронтов достигают $0.50^{\circ}\text{C}/18\text{ км}$, температуры – 2°C , широтного положения – 30 км .

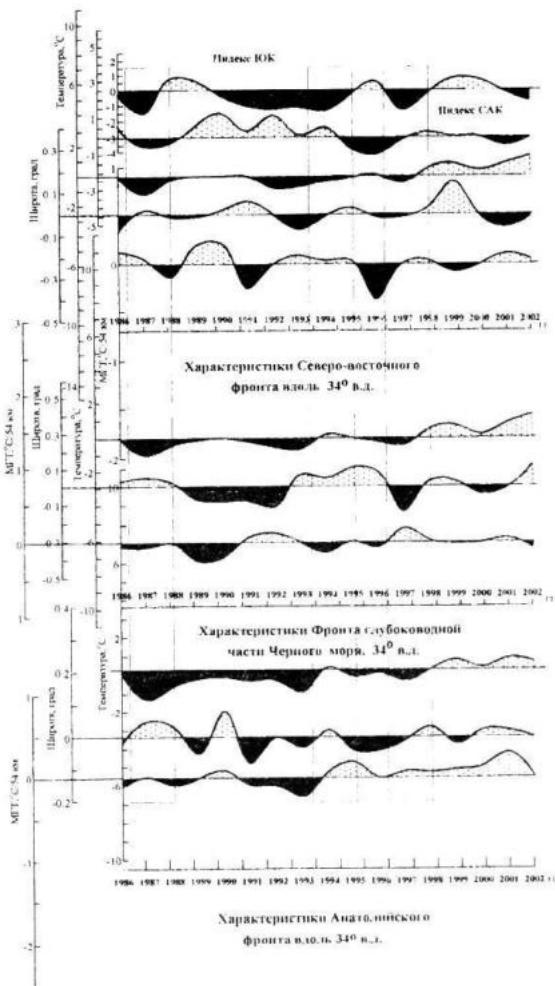


Рисунок 2 – Межгодовой ход среднегодовых индексов ЮК и САК и аномалий характеристик фронтов на 34° в.д.

Расчет кросскорреляционных функций показал, что между аномалиями характеристик фронтов и индексами атмосферной циркуляции существуют значимые связи (рисунок 3).

Для Северо-восточного и Анатолийского фронтов выявлена прямая корреляция ($R \sim 0.55$) между температурой и индексом ЮК, при этом временной сдвиг отсутствует. Реакция температуры на колебания индекса САК для всех рассматриваемых фронтов происходит с запаздыванием на 3 года, при этом отмечается обратная корреляционная зависимость с $R \sim -0.55$. Подобный характер корреляционных связей свидетельствует о том, при уменьшении значе-

ний индекса ЮК и увеличении значений индекса САК фронты формируются при более низких температурах.

Между изменениями широтного положения Северо-восточного фронта и Фронта глубоководной части Черного моря и индекса САК выявлена обратная корреляционная связь ($R \sim -0.60$). При увеличении индекса САК Северо-восточный фронт и Фронт глубоководной части Черного моря смещаются к северу, при этом для СВФ временное запаздывание составляет 3 года, а для ФГЧМ реакция на изменения САК происходит квазисинхронно. Отмечается также значимая связь между колебаниями широтного положения Анатолийского фронта ($R \sim 0.50$), Фронта глубоководной части моря ($R \sim -0.50$) и индекса ЮК со сдвигом в 1–2 года. Т.е. при экстремальных отрицательных значениях индекса ЮК Анатолийский фронт смещается к югу, а Фронт глубоководной части к северу.

Между величиной МГТ и индексом САК наблюдается значимая связь для Анатолийского фронта (обратная корреляция с $R \sim -0.55$ при двухлетнем лидировании САК) и для Северо-восточного фронта (прямая корреляция с $R \sim 0.50$ при отсутствии сдвига). Связь между интенсивностью фронтов и индексом ЮК выявлена для Анатолийского фронта и Фронта глубоководной части Черного моря. В этом случае отмечается прямая корреляция с $R \sim 0.50$ со сдвигом в 1 год для АФ и 2 года для ФГЧМ.

Выходы. Показано, что характеристики температурных фронтов на поверхности Черного моря подвержены существенным межгодовым колебаниям.

Установлено, что существуют значимые корреляционные связи между межгодовыми вариациями аномалий характеристик фронтов и индексами САК и ЮК. Реакция температуры на оси фронтов на колебания индекса САК происходит с запаздыванием на 3 года, на изменения индекса ЮК – с отсутствием временного сдвига. Увеличение индекса САК и уменьшение индекса ЮК приводят к снижению температурных диапазонов фронтов.

При увеличении индекса САК Северо-восточный фронт и Фронт глубоководной части Черного моря смещаются к северу. При увеличении индекса ЮК Анатолийский фронт смещается к северу, а Фронт глубоководной части к югу.

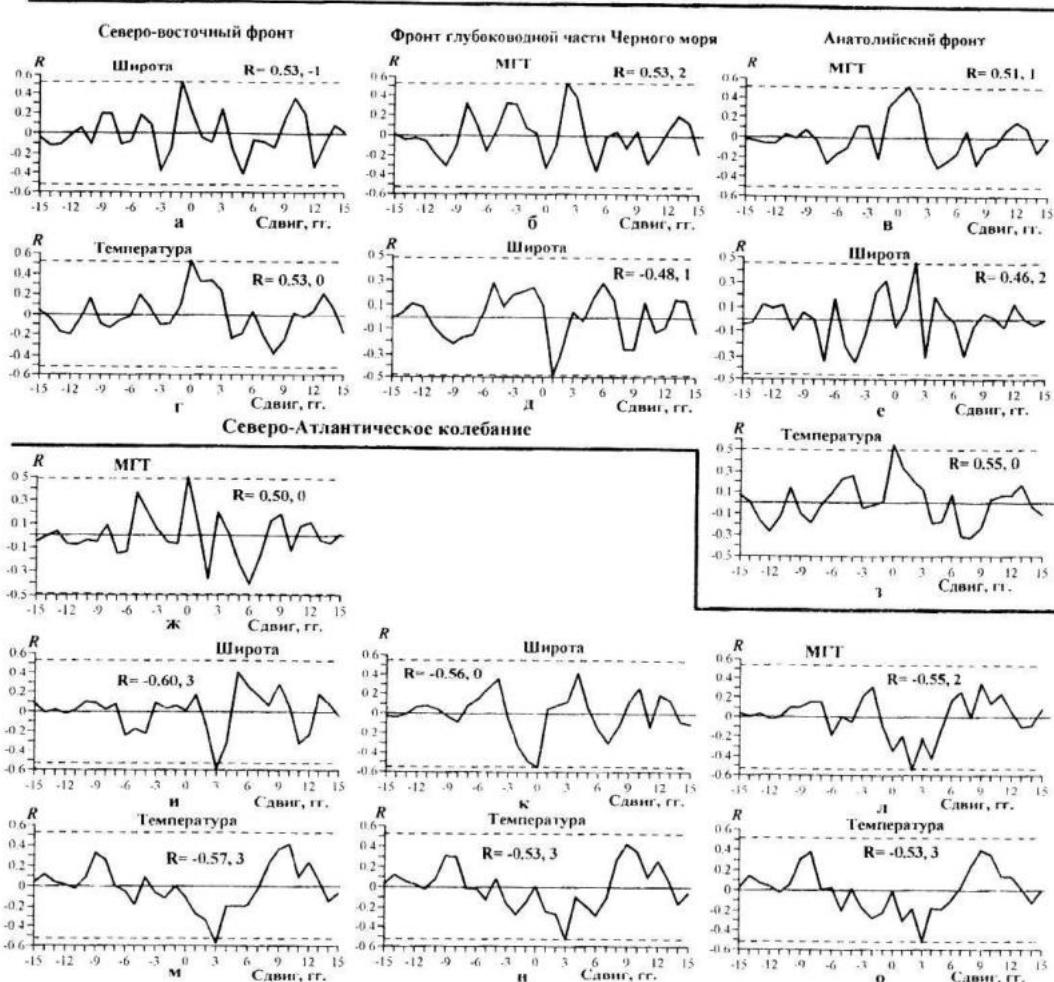


Рисунок 3 -- Кросскорреляционные функции для среднегодовых аномалий характеристик фронтов и индексов САК и ЮК. Штриховые линии – границы 95%-ного доверительного интервала

В периоды экстремальных среднегодовых значений индексов САК и ЮК наблюдается существенный сдвиг во времени наступления максимальной обостренности фронтов относительно их нормального сезонного цикла.

Л и т е р а т у р а

1. А.С. Блатов, Н.П. Булгаков, В.А. Иванов и др. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 240 с.

2. А.С. Блатов, А.Н. Косарев, В.С. Тужилкин. Изменчивость гидрологической структуры вод Черного моря и ее связь с внешними факторами. Водные ресурсы. – 1980. – № 6. – С. 71–82.

3. Е.Н. Воскресенская. Глобальные процессы в системе океана – атмосфера и их влияние на природные аномалии Атлантико-Европейского региона / Диссертация на

соискание ученой степени доктора географ. наук. – Севастополь, 2005. – 408 с.

4. А.И. Гинзбург, А.Г. Костяной, Н.А. Шеремет. Об использовании спутниковых данных в исследовании сезонной и межгодовой изменчивости температуры поверхности Черного моря // Исследование Земли из космоса. – 2001. – № 1. – С. 51–61.

5. Ю.В. Артамонов, Е.А. Скрипалева, М.В. Бабий. Региональные особенности межгодовой изменчивости поля температуры на поверхности Черного моря. Системы контроля окружающей среды / Сб. науч. трудов МГИ НАНУ. – Севастополь, 2005. – С. 240–242.

6. Ю.В. Артамонов, Е.А. Скрипалева, М.В. Бабий. Сезонная изменчивость температурных фронтов на поверхности Черного моря по спутниковым данным. Системы контроля окружающей среды / Сб. науч. трудов МГИ НАНУ. – Севастополь, 2005. – С. 234–236.