

О.В. Хаймина, В.Д. Бойцов, И.П. Карпова

ВЕКОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ КЛИМАТА МОРЕЙ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

O.V. Khaimina, V.D. Boitsov, I.P. Karpova

SECULAR VARIATIONS IN CLIMATE SEAS NORTH-WEST RUSSIA

Для исследования изменений климата морей северо-запада России за последние 110 лет использован интегральный климатический индекс (ИКЛ). Рассмотрена внутренняя структура его колебаний по результатам спектрального и вейвлет-анализов. В целом частотный состав межгодовой динамики климатических индексов Белого, Баренцева и Балтийского морей идентичен. Различия проявляются во временной изменчивости высокочастотных квазигармонических составляющих. Приведены результаты экстраполяции нелинейной трендовой компоненты климатических индексов морей до 2020 г.

Ключевые слова: колебания климата, полицикличность, интегральный климатический индекс, спектральный анализ, вейвлет-анализ, моря северо-запада России.

To study the climate change of north-west Russia seas for the last 110 years, the Integral Climate Index has been used. Spectral and wavelet analysis has been chosen to reveal the structure of the ICI series. General frequency characteristics of the White, Barents and Baltic seas are identical. Some differences are revealed in the high frequency quasi-harmonic components. The results of the climate indices' elicited non-linear trend extrapolation for the seas till 2020 year are given.

Keywords: variations in climate, polycyclic, integrated climate index, spectral analysis, wavelet analysis, seas of the north-west Russia.

Вековые изменения гидрометеорологического режима морей северо-запада России протекают на фоне колебаний климатов Земли и Солнца. В настоящее время этим вопросам уделяется повышенное внимание, так как в конце XX – начале XXI столетий отмечено значительное потепление климата преимущественно в Северном полушарии. Многочисленные исследования причин таких изменений проводятся в рамках двух основных гипотез: специалисты первой полагают, что потепление обусловлено главным образом ростом положительной части теплового баланса Земли из-за увеличения в атмосфере концентрации парниковых газов вследствие промышленных выбросов [21]; согласно второй точки зрения, этот климатический сдвиг является следствием наличия полициклической структуры в динамике развития природных процессов под влиянием внешних и внутренних факторов [1,2,6,13,14,16 и др.].

Для мониторинга климатических изменений используются как продолжительные временные ряды измеряемых гидрометеорологических величин (температура и влажность воздуха, атмосферное давление, температура воды, уровень моря, сток рек, ледовитость и др.), так и различные индексы, учитывающие изменчивость климатообразующих факторов, такие, например, как числа Вольфа, продолжительность земных суток; индексы, отражающие развитие аномалий характеристик циркуляции в атмосфере (Индекс Северо-Атлантического Колебания НАО, западная, восточная и меридиональная формы циркуляции атмосферы [3,9,10,17]) и другие.

Помимо индексов, характеризующих развитие процессов на Земле планетарного и полушарного масштабов, используются различные региональные индексы. Так, для анализа колебаний климата в районе Баренцева моря В.Д. Бойцовым [6] был предложен среднегодовой интегральный климатический индекс (ИКЛ), который учитывает суммарную изменчивость тепловых климатообразующих факторов, какими являются температура воздуха и воды, а также ледовитость моря.

В настоящей работе аналогичные климатические индексы были рассчитаны для акваторий Белого, Балтийского и Баренцева морей за период 1900-2009 гг.

В качестве исходных данных использовались временные ряды следующих характеристик:

- среднемесячные значения температуры воздуха по станциям Белого (Кандалакша, Онега, Архангельск), Балтийского (Хапаранда, Санкт-Петербург, Калининград) и Баренцева (Вардё, Канин Нос) морей с 1900 по 2009 г. – архив NOAA NCDC GHCN version 2 (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.GHCN/.v2/.raw/.mean/.temp/>);
- среднемесячные значения температуры поверхности воды (ТПО) с 1900 по 2009 г. в сетке 2°x2° акватории Белого (5 узлов), Балтийского (12 узлов) и Баренцева (62 узла) морей – архив NOAA NCDC ERSST version3b Extended reconstructed sea surface temperature (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.ERSST/.version3b/.sst/>);
- средняя ледовитость Баренцева моря за май-июль, выраженная в % площади свободной ото льда с 1900 по 2009 г. (данные Мурманского УГМС);
- средняя за декабрь-май ледовитость Белого моря, выраженная в % площади занятой льдом с 1900 по 1985 г. [7];
- максимальная за ледовый период ледовитость Балтийского моря, выраженная в % площади занятой льдом с 1900 по 2010 г. ([5]; данные ледового отдела СЗУГМС).

Имевшиеся для отдельных станций пропуски среднемесячной температуры воздуха предварительно восстанавливались с использованием регрессионных зависимостей ($r = 0,81-0,98$) с данными тех ближайших пунктов, где массивы были без пропусков. Количество групповых пропусков от общей длины ряда не превышало 12-15 %, а единичных было менее 1 %.

Для получения данных о средней за декабрь-май ледовитости Белого моря в период 1986-2009 гг. была составлена регрессионная зависимость ледовитости Белого моря от среднемесячных значений температуры воздуха, осредненных по трем метеостанциям Белого моря. Зависимая выборка содержала данные с 1913 по 1985 г., коэффициент

корреляции на этом временном интервале составил – 0,94. Высокая корреляция между ледовитостью Белого моря и температурой воздуха в зимний период отмечалась также в работах И.О. Думанской [10], а ранее Л.Р. Лукина и С.В. Снеговской [7].

Значения климатических индексов для районов трех морей северо-запада России рассчитывались по формуле [6]:

$$IKI_j = \sum \left[(Ta_j - \overline{Ta_j}) / \sigma_{Ta_j} + (Tw_j - \overline{Tw_j}) / \sigma_{Tw_j} + (L_j - \overline{L_j}) / \sigma_{L_j} \right],$$

где IKI_j – интегральный климатический индекс j-того моря; Ta_j , Tw_j – фактические значения температуры воздуха и воды (°C) соответственно; L_j – фактическая ледовитость (%); $\overline{Ta_j}$, $\overline{Tw_j}$, $\overline{L_j}$ – средние многолетние значения температуры воздуха, воды и ледовитости; σ_{Ta_j} , σ_{Tw_j} , σ_{L_j} – среднеквадратические отклонения температуры воздуха, воды и ледовитости.

Как следует из формулы, все исходные гидрометеорологические параметры были нормированы, таким образом, значение климатического индекса, равное «0», соответствует норме за 1900–2009 гг.

Временная изменчивость климатических индексов морей северо-запада России в XX – начале XXI веков представлена на рис. 1, первичные статистики рядов приведены в табл. 1.

Следует отметить, что ранее значения климатического индекса Баренцева моря рассчитывались с учетом данных о температуре воды слоя 0–200 м на станциях 3–7 разреза «Кольский меридиан» [6]. Сравнение климатических индексов Баренцева моря за период 1900–2009 гг., полученных как с учетом температуры поверхности воды в узлах сетки 2°x2°, так и по данным разреза «Кольский меридиан», не выявило между выборками статистически значимых различий по среднеквадратическому отклонению (СКО) (табл. 1), а коэффициент корреляции между ними составил 0,96. Поэтому в нашем исследовании рассмотрены значения климатического индекса Баренцева моря, полученные с использованием ТПО.

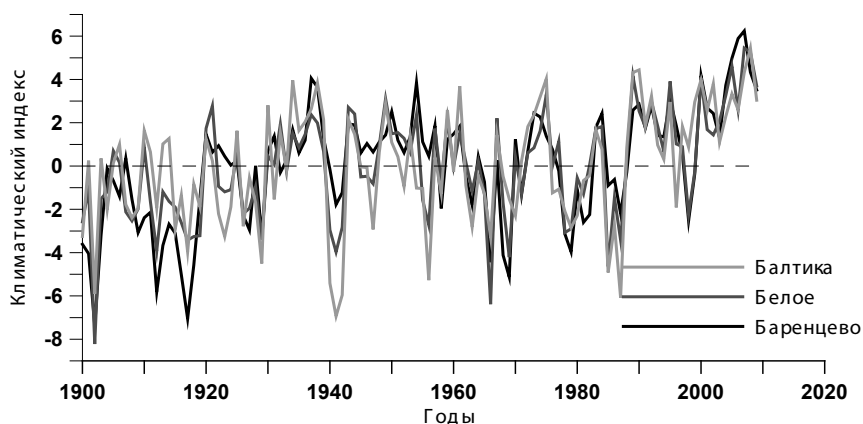


Рис. 1. Изменчивость климатических индексов морей северо-запада России в XX – начале XXI веков

Таблица 1

Первичные статистики временных рядов климатических индексов морей северо-запада России (1900-2009 гг.)

| Море | Характеристики временных рядов | | | |
|------------|--------------------------------|---------|-----------|------|
| | максимум | минимум | амплитуда | СКО |
| Балтийское | 5,22 | -6,91 | 12,13 | 2,65 |
| Белое | 5,44 | -8,22 | 13,67 | 2,44 |
| Баренцево | 6,24 | -7,42 | 13,66 | 2,67 |
| Баренцево* | 6,03 | -7,06 | 13,09 | 2,75 |

* ИКЛ для Баренцева моря, рассчитанный с использованием данных о температуре воды слоя 0-200 м на ст. 3-7 разреза «Кольский меридиан».

Анализ линейных трендов рядов климатических индексов морей северо-запада России показал, что их вклад в дисперсию ИКЛ во всех случаях превышает 10 % и возрастает от Балтийского к Баренцеву морю, а абсолютные величины изменений индексов за десять лет положительны и близки для всех морей (табл. 2). По нашему мнению, эти линейные тренды представляют собой положительную часть цикла с квазипериодом, существенно превышающим длину исходных рядов.

Таблица 2

Характеристики линейных трендов рядов климатических индексов морей северо-запада России (1900-2009 гг.)

| Море | Вклад в дисперсию, % | Тенденция | Изменения ИКЛ за 10 лет |
|------------|----------------------|------------|-------------------------|
| Балтийское | 12 | Увеличение | 0,3 |
| Белое | 21 | Увеличение | 0,4 |
| Баренцево | 26 | Увеличение | 0,4 |

Вклад нелинейных трендов, аппроксимированных полиномами 3-6 степеней, возрастает до ~20-47 % (табл. 3), что свидетельствует о значительном влиянии долгопериодной квазигармонической составляющей, присутствующей в анализируемых исходных рядах. Следует отметить, что заметное увеличение вклада нелинейного тренда в дисперсию колебаний ИКЛ (на 6 %) произошло при повышении степени аппроксимирующего полинома только для Баренцева моря. При этом у индексов Белого и Баренцева морей время наступления экстремумов долгопериодных квазигармоник почти совпадает (рис. 2). Для ИКЛ Балтийского моря максимум и минимум долгопериодного цикла в XX веке выражены слабее и моменты наступления экстремумов несколько не совпадают с аналогичными показателями для ИКЛ остальных морей.

Спектральный состав колебаний климатических индексов Белого, Баренцева и Балтийского морей был установлен с использованием нескольких пакетов прикладных программ: «Statistica», «AutoSignal», «Boen» и «Призма», Последний был разработан сотрудниками Российского государственного гидрометеорологического университета [15]. Использование программных продуктов, в которых применяются различные математические подходы для выявления скрытых периодичностей,

позволяет путем сравнения частотного состава получить более достоверные оценки присутствующих в межгодовой динамике ИКЛ ритмических колебаний.

Таблица 3

Вклад нелинейных трендов, аппроксимированных полиномами различной степени, в дисперсию исходных значений климатических индексов морей северо-запада России (в %)

| Море | Степень полинома | | | |
|------------|------------------|-----|-----|-----|
| | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Балтийское | ~20 | ~20 | ~20 | ~20 |
| Белое | ~30 | ~32 | ~32 | ~33 |
| Баренцево | ~41 | ~45 | ~47 | ~47 |

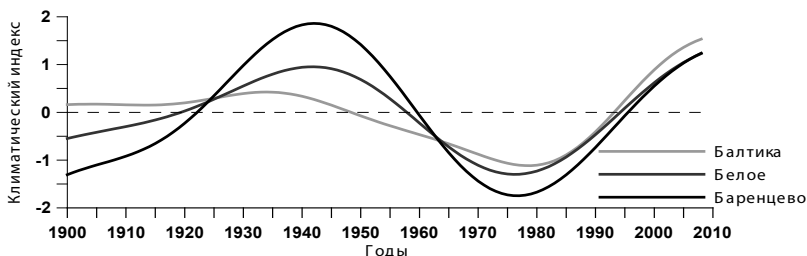


Рис. 2. Долгопериодные составляющие ИКЛ морей северо-запада России

При расчете спектральной плотности с помощью программ, где применен алгоритм быстрого преобразования Фурье, в настоящей работе были использованы рекомендации [11,20], согласно которым для выбора разумного компромисса между повышением разрешающей способности спектра при увеличении числа сдвигов автокорреляционной функции (P) и одновременным ростом ошибок ее оценивания выбираются P в интервале от $n/3$ до $n/2$ (n - длина исходного ряда). Полученные результаты показали, что частотная структура межгодовых колебаний климатических индексов Белого, Баренцева и Балтийского морей в целом идентична (табл. 4). Значимые максимумы спектральной плотности соответствуют периодам 13-17, ~ 8, 5-6 лет и 2-3 года. При этом прослеживается тенденция увеличения вклада гармоник ~ 13-17 лет от Балтийского к Баренцеву морю и обратная тенденция для гармоник ~ 8 лет (табл. 4). Вклад высокочастотных колебаний в изменчивость климатического индекса всех морей достаточно большой и максимален для Балтийского моря.

Наличие близкой частотной структуры многолетних колебаний климатических индексов трех морей определяет достаточно высокую степень их статистической сопряженности. Коэффициент корреляции между исходными значениями индексов Белого и Баренцева морей составляет $r = 0,84$, Белого и Балтийского $r = 0,82$, Баренцева и Балтийского $r = 0,62$ (табл. 5). Критическое значение выборочного коэффициента корреляции при уровне значимости $\alpha = 0,01$ и длине ряда $n = 110$ составляет $r = 0,25$.

Таблица 4

Средние значения вклада квазипериодических составляющих в колебания климатических индексов Белого, Баренцева и Балтийского морей (в %), выделенных по максимумам спектральной плотности с помощью различных методов анализа

| Море | Период, год | | | |
|------------|-------------|-----|-----|-----|
| | 13-17 | ~ 8 | 5-6 | 2-3 |
| Балтийское | 12 | 18 | 14 | 19 |
| Белое | 21 | 12 | 10 | 13 |
| Баренцево | 21 | 10 | 11 | 14 |

Данные табл. 5 подтверждают вышеуказанное положение о более тесной согласованности климатических изменений в этих морях в области низкочастотных колебаний и свидетельствуют об уменьшении статистической связи при увеличении частоты исследуемых квазигармоник. Исключение составляют результаты анализа сопряженности ИКЛ Балтийского и Белого морей, у которых наименьший коэффициент корреляции имеет место у высокочастотных (2-3-летних) колебаний, тогда как величина связи между остальными циклами почти одинакова ($r = 0,83-0,85$). Менее тесная статистическая связь между соответствующими циклическими компонентами, присутствующими в колебаниях климатических индексов Баренцева и Балтийского морей, может быть связана с региональными особенностями их гидрометеорологического режима, которые во многом определяются физико-географическим положением морей и характеристиками их водообмена с прилегающими водными акваториями, а также большей «полифонией» изменчивости, характерной для Балтийского моря.

Таблица 5

Коэффициенты корреляции между отдельными квазипериодическими составляющими ИКЛ Балтийского, Белого, Баренцева морей

| Море | Периоды квазигармонических компонент | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------------------------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | ~ 60 | | 13-17 | | ~ 8 | | 5-6 | | 2-3 | |
| | Балтика | Белое | Балтика | Белое | Балтика | Белое | Балтика | Белое | Балтика | Белое |
| Белое | 0,84 | 1,00 | 0,83 | 1,00 | 0,84 | 1,00 | 0,85 | 1,00 | 0,71 | 1,00 |
| Баренцево | 0,66 | 0,96 | 0,63 | 0,86 | 0,51 | 0,78 | 0,74 | 0,74 | 0,42 | 0,71 |

Обращает на себя внимание наличие хорошо выраженной нестационарности по амплитуде у большинства выделенных квазипериодических составляющих. Лишь у амплитуд квазигармоник с периодом 13-17 лет «биения» проявляются слабо (рис. 3). При этом максимальные амплитуды колебаний отмечаются практически одновременно во всех трех морях. Заметим, что огибающие этих гармоник тоже имеют свою квазипериодичность (от ~ 30 лет для 2-3-летней составляющей до ~ 60 лет для 5-6-летней и ~ 8-летней составляющих), поэтому и создается впечатление хаотичности в исходных рядах.

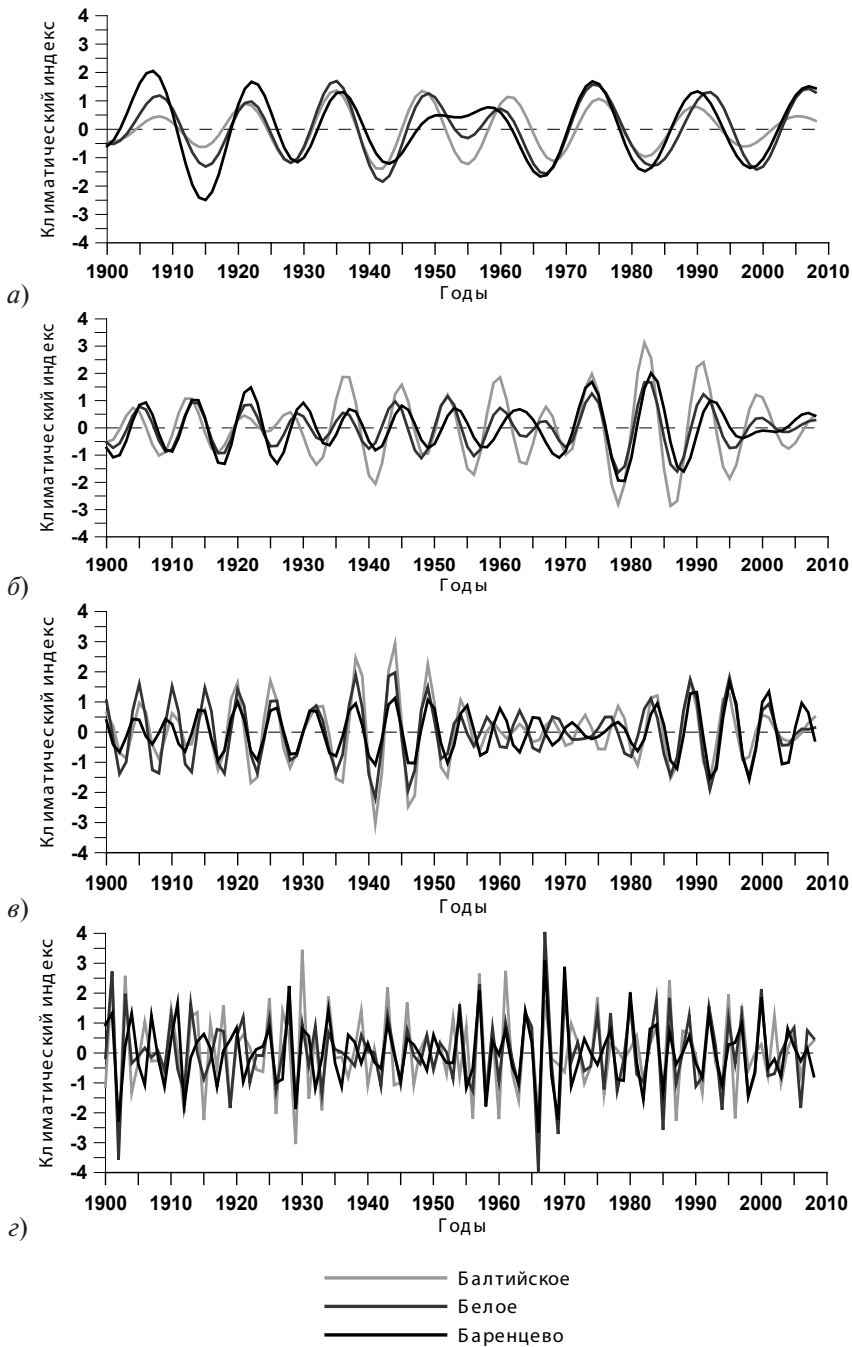


Рис. 3. Межгодовая изменчивость амплитуд выделенных квазигармонических составляющих: а – 13-17 лет; б – ~ 8 лет; в – 5-6 лет; г – 2-3 года

Для более детального исследования нестационарности выделенных циклических был применен вейвлет-анализ. Расчеты коэффициентов вейвлет-преобразования выполнены в программных пакетах «AutoSignal v.1.6» и MATLAB, где в качестве базисной функции применялся вейвлет Морле, получивший распространение при анализе климатических изменений гидрометеорологических параметров [4,16]. Масштаб вейвлета не превышал половины длины исходного ряда.

На рис. 4 представлены результаты расчетов в пакете MATLAB. По сравнению с результатами аналогичных расчетов в пакете AutoSignal v.1.6, **данный вариант** позволяет более детально проследить изменчивость исследуемых характеристик на всех интересующих временных интервалах.

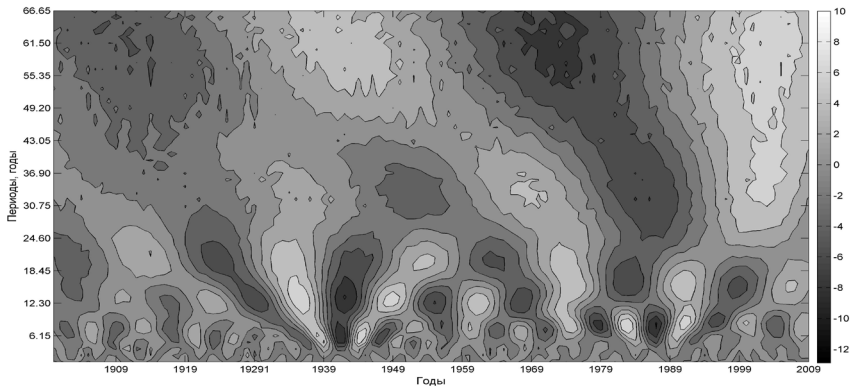
Для всех морей наиболее стабильной является 13-17-летняя компонента, но значимость ее в отдельные годы существенно различается. Так, для Балтийского моря в XX и начале XXI столетий вклад в общую дисперсию этой компоненты был относительно невелик по сравнению с 30-50-ми годами прошлого века, когда наблюдалось потепление Арктики. Для Баренцева моря в середине прошлого века, напротив, характерно ослабление роли этой цикличности. Квазивосьмилетняя компонента более значима для Балтийского моря по сравнению с Белым и Баренцевым морями, что подтверждают ранее проведенные расчеты (см. табл. 4). Наиболее четко выражена цикличность с квазипериодом более 60 лет, особенно в Баренцевом море.

В многолетних колебаниях ИКЛ Балтийского моря локальные экстремумы имеют ритм с квазипериодом 35-40 лет (рис. 4 а), который практически отсутствует в динамике ИКЛ двух других морей (рис. 4). Данная ритмичность четко выделяется также в колебаниях температуры воды Балтийского моря (рис. 5). Ее суперпозиция с квазивековым циклом ИКЛ может влиять на сдвиг времени наступления максимума и минимума нелинейного тренда этого моря относительно двух других морей северо-запада России.-

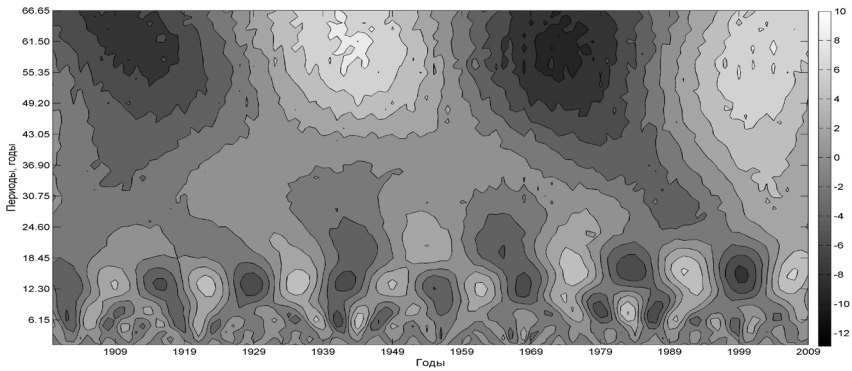
К сожалению, достаточно продолжительных рядов инструментальных наблюдений, выполненных с одинаковой и необходимой точностью, для более корректного анализа долгопериодной (квазивековой) составляющей пока нет.

Аналогичные расчеты коэффициентов вейвлет-преобразований для исходных гидрометеорологических рядов (температуры воды и воздуха, ледовитости) показали, что всем им присущи те же основные цикличности, которые присутствуют в колебаниях соответствующих ИКЛ.

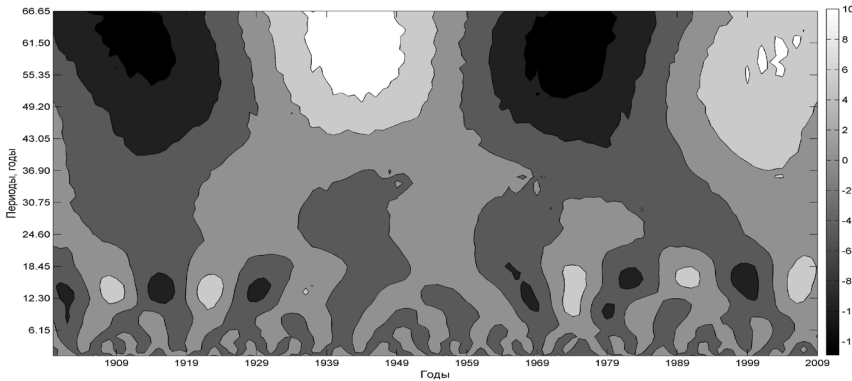
Короткопериодные флюктуации ИКЛ трех морей, как уже отмечено выше, происходят на фоне более выраженных долгопериодных изменений климата. Рассмотрев совместно результаты вейвлет-анализа и межгодовую изменчивость амплитуд квазигармонических составляющих с периодами 8-9 лет и менее (рис. 3-4), можно заметить, что долгопериодные колебания, выявленные у ИКЛ, близки биениям у амплитуд короткопериодных квазигармоник для всех исследованных морей. Изменения амплитуды, отмеченные у 2-3-летней гармоник и близкие к периоду 35-40 лет, ярко выделяются только для Балтийского моря. Возможно, существование этой гармоник обусловило особенности трендовой составляющей в Балтийском море и ее более слабую корреляцию с аналогичными компонентами ИКЛ других исследованных морей.



a)



б)



в)

Рис. 4. Коэффициенты вейвлет-преобразования (пакет MATLAB) рядов климатических индексов Балтийского (в), Белого (б) и Баренцева (а) морей

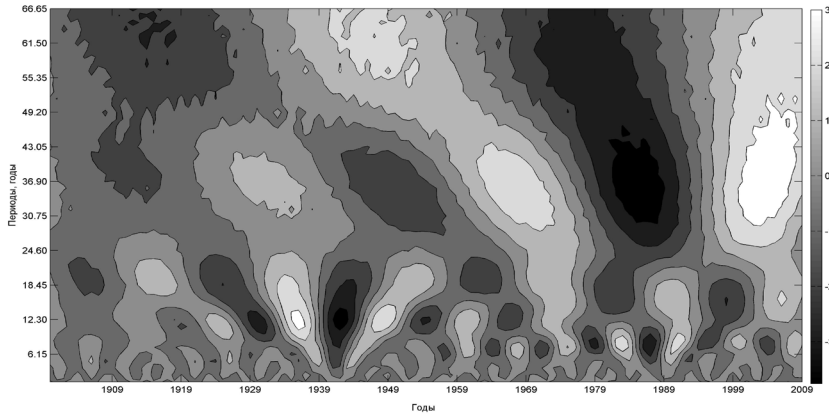


Рис. 5. Коэффициенты вейвлет-преобразования (пакет MATLAB) рядов температуры воды Балтийского моря

Рассмотрим выявленные особенности климатических изменений для акваторий морей северо-запада России в XX – начале XXI века в контексте циклической концепции динамики климата.

Исследования спектральной структуры космогеофизических, гидрометеорологических и различных других природных процессов показали их полициклическую структуру [1,2,6,8,9,12-14,16,19,22 и многие другие]. Колебания климата также являются сложным ритмическим процессом, включающим циклы различного масштаба, для которых характерна неоднородность изменений как по амплитуде, так и по фазе.

Не касаясь масштабов изменения палеоклимата, при анализе современных изменений климата, строго говоря, необходимо учитывать цикличности, начиная с многовековых. Однако ввиду ограниченной продолжительности исследуемых временных рядов остановимся ниже на рассмотрении двух цикличностей – 35-40 лет и вековой, прослеживающихся по данным об изменении ИКЛ морей северо-запада России.

О существовании циклических изменений климата с периодами 35-45 лет впервые было заявлено в конце XIX в. русскими учеными Э.А.Брикнером и А.И. Воейковым. Впоследствии климатические циклы такой продолжительности получили название «брикнеровских» и нашли свое отражение в теории о внутривековой и многовековой изменчивости климата и общей увлажненности материков Северного полушария [3,13,19]. Как уже отмечалось, квазивековой цикл присущ подавляющему большинству природных процессов на Земле. Гипотеза о причине такого цикла высказана А.С. Мониным и Д.М. Сонечкиным [16]. По мнению этих авторов, «причиной этого колебания является тройной солнечный цикл», т.е. утроенный цикл магнитной активности на Солнце, составляющий 23,5 года. Утроение возникает вследствие влияния Юпитера и Сатурна на вращение Солнца вокруг общего центра инерции Солнечной системы. В связи с этими циклическими движениями изменяется количество поступающей на Землю солнечной радиации, что, по-видимому, приводит к

возникновению квазивековых (с периодами от 60 до 100 лет) колебаний климата [16]. Для последнего столетия более характерным является 60-80-летняя продолжительность этого цикла.

Полученные нами результаты об изменчивости климатического индекса хорошо согласуются с полученными ранее оценками тенденций изменения климата в морях северо-запада России [6,17,18]. Наиболее четко выраженная цикличность с квазипериодом 60-70 лет и более была выявлена и в результате многочисленных исследований изменчивости различных гидрометеорологических параметров в морях и открытых районах Мирового океана [3,8,12,16]. Реальность существования квазивековых цикличностей подтверждается результатами спектрального анализа рядов реконструкции климата по ледовым кернам и кольцам роста долгоживущих деревьев [12,16]; а также работами исследователей цикличности других природных процессов [13,14,19].

Долгопериодные климатические колебания последних десятиков лет, выявленные в тепловом режиме исследуемых морей северо-запада России, позволяют прийти к выводу о том, что более обоснованным является подход к изучению природных процессов с точки зрения цикличности их изменчивости.

На рис. 6 показана динамика среднегодовых значений климатических индексов северо-западных морей России, их долгопериодные составляющие, полученные путем аппроксимации гармоническими функциями (квази-70-летняя гармоника с учетом линейного тренда) и расчета нелинейного тренда в пакете «Призма» [15]. Период гармонической составляющей определялся по максимуму коэффициента корреляции с рассчитанным нелинейным трендом. Результаты экстраполяции квазивековых трендов до 2020 г. также представлены на рис. 6.

Значения трендовых составляющих ИКЛ в 2010 г. близки к максимумам за весь 110-летний период. Колебания квазипериодических составляющих более высокого порядка могут вносить определенный вклад в числовые значения климатического индекса в конкретном году, но общий тепловой фон пока остается положительным. Так, максимальные изменения ИКЛ на отдельных интервалах продолжительностью менее 5 лет соизмеримы или даже превышают амплитуды нелинейных трендов за весь рассматриваемый период.

Экстраполяция выявленной тенденции изменения нелинейной трендовой компоненты рядов климатических индексов морей северо-запада России (рис. 6) указывает на близкое окончание последней фазы потепления (70-е годы прошлого столетия характеризуются экстремальным похолоданием, после чего началось потепление, которое может продолжиться до 2010-2015 гг.). При этом смена знака тенденции ожидается последовательно: в первую очередь в бассейне Балтийского моря, затем в бассейнах Белого и Баренцева морей. Таким образом, по нашему мнению, в этом регионе потепление в ближайшие годы должно закончиться и начнется похолодание.

Исследования космогенных и глобальных геофизических процессов на Земле, выполненные специалистами в различных областях науки за последние десятилетия, подтвердили фундаментальность положения о ритмичности происходящих изменений. Необходимо дальнейшее изучение природной цикличности современными методами с целью использования результатов для долгосрочного прогнозирования климата.

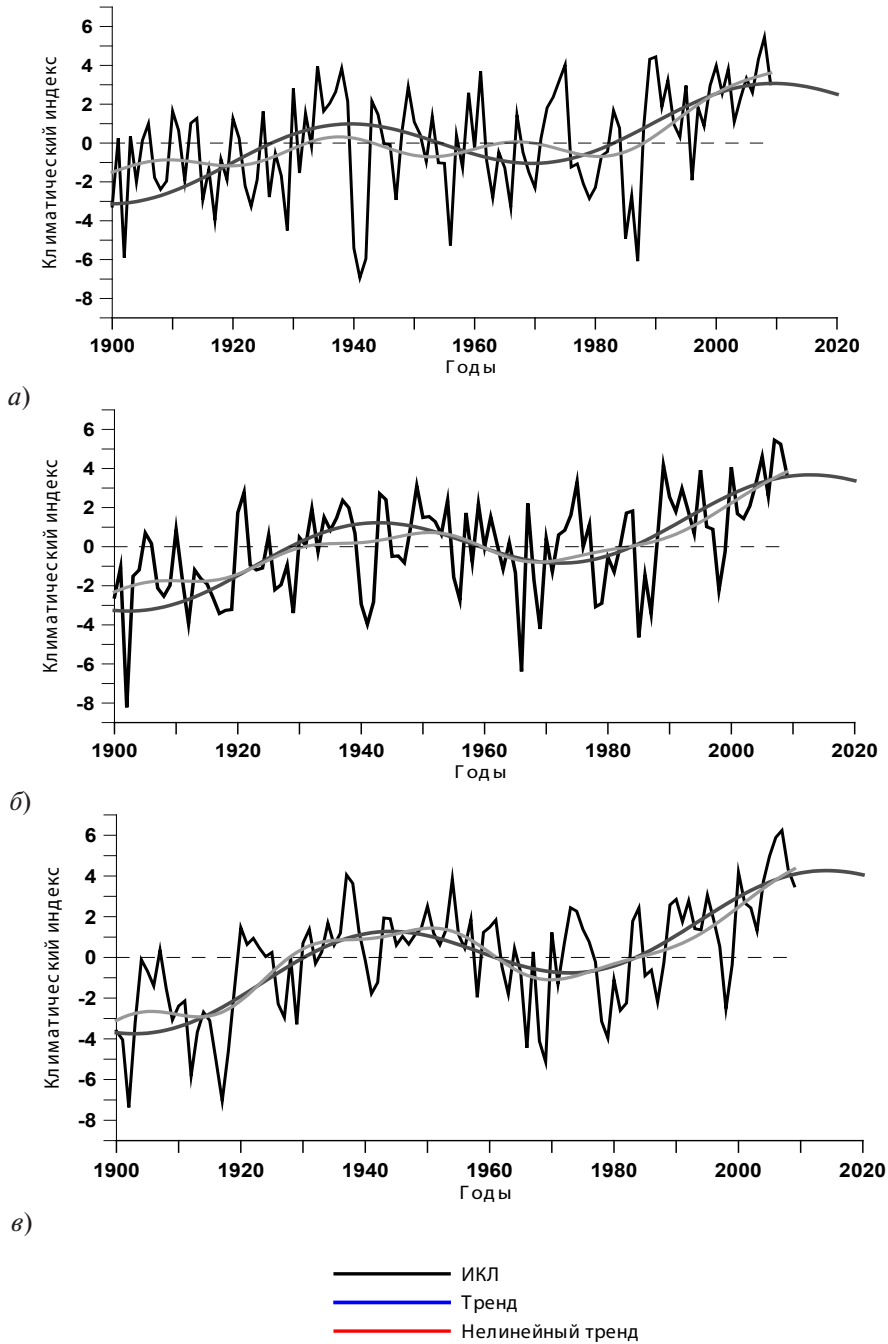


Рис. 6. Гармоническая аппроксимация долгопериодной составляющей рядов ИКЛ Балтийского (а), Белого (б) и Баренцева (в) морей и ее экстраполяция

Литература

1. Абдусаматов Х.И. Солнце диктует климат Земли.- СПб., Изд-во «Logos», 2009. – 197 с.
2. Аверкиев А.С., Карпова И.П. Ритмика долгопериодных изменений отдельных природных процессов. – Океанологическому факультету – 30 лет (Исследования и подготовка специалистов в области морских наук). Сборник научных трудов. – СПб., изд. РГГМУ, 2000, с.63-72.
3. Антонов А.Е. Природная циклоэнергетика. Гидрометеорологическое и рыбопромысловое прогнозирование. – СПб.: Гидрометеоздат, 2007.- 215 с.
4. Белоненко Т.В., Фукс В.Р., Шилов И.О. Опыт применения вейвлет-анализа для исследования изменчивости океанологических процессов в Курильском районе // Теория и практика эколого-географических исследований (Итоги научной работы Учебно-научного центра географии и геоэкологии в 2004 г.)/Под ред. В.В. Дмитриева, А.И. Чистобаева, Т.А. Алиева, И.О. Шилова. – СПб.: ТИН, 2005, с. 150-163.
5. Бетин В.В., Преображенский Ю.В. Суровость зим в Европе и ледовитость Балтики.- Л.: Гидрометеоздат, 1962.- 110 с.
6. Бойцов В.Д. Изменчивость температуры воды в Баренцевом море и ее прогнозирование Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2006. – 292 с.
7. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.2: Белое море, Вып.1. Гидрометеорологические условия./ Под ред. Б.Х. Глуховского – Л.: Гидрометеоздат, 1991, с. 193-235.
8. Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М., Фролов И.Е. О характере и причинах изменений климата Земли // Проблемы Арктики и Антарктики, 2009, № 1 (81), с.5-23.
9. Дмитриев А.А., Белязо В.А. Ритмика атмосферной циркуляции приполярных районов Атлантического океана и их космо-геофизическая обусловленность // Ученые записки РГГМУ, 2011, Вып.19, с. 86-100.
10. Думанская И.О. Исследование изменчивости и прогноз характеристик дрейфующего льда в Белом море // Автореф. дис. канд геогр. наук : 25.00.30. – М., 2007. – 28 с.
11. Кей С.М. Современные методы спектрального анализа // Тр. ТИИЭР, 1981, т. 69, № 11, с. 5-52.
12. Кляшторин Л.Б., Лобушин А.А. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности. – М.: Изд. ВНИРО, 2005. – 246 с.
13. Кривенко В.Г. Природные циклы нашей планеты // Электронный журнал «Природа России», 2010 сентябрь, Режим доступа: <http://www.biodat.ru/doc/lib/krivenko1.htm>
14. Максимов Е.В. Ритмы на Земле и в Космосе. – СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 1995. -324 с.
15. Методические рекомендации по использованию метода сверхдолгосрочного прогнозирования гидрометеорологических элементов (МСПГЭ) и программного комплекса «Призма»/А.С. Аверкиев, В.М. Булаева, Д.В. Густов, И.П. Карпова – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1997. – 40 с.
16. Монин А.С., Сонечкин Д.М. Колебания климата по данным наблюдений: тройной солнечный и другие циклы. – М.: Наука, 2005. – 191 с.
17. Смирнова А.И., Терзиев Ф.С., Арсенчук М.О., Яковлева Н.П. Общие закономерности изменчивости гидрометеорологического режима Балтийского и Белого морей // Метеорология и гидрология, 2000, №11, с. 62-72.
18. Хаймина О.В., Карпова И.П., Бойцов В.Д. Внутривековые изменения климата Белого моря в XX - начале XXI века и прогноз его состояния до 2025 года // Вопросы промысловой океанологии, 2010, Вып. 7, № 2, с. 48-57.
19. Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. – Л. Наука, 1969. – 244 с.
20. Anderson N.O. On the calculation of the filter coefficients for maximum entropy spectral analysis//Geophysics, 1974. – Vol. 39, № 1. – P. 69-72.
21. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007/Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller(eds.) – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York. Режим доступа: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/
22. ICES COOPERATIVE RESEARCH REPORT, 2011, № 310. Pp. 262