

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

*Представлены результаты корреляционного анализа повторяемости индекса Северо-Атлантического колебания (NAO) и числа дней каждой из форм циркуляции W, E, C по классификации Г. Я. Вангенгейма за период 1901–2006 гг. Установлено, что индекс NAO имеет значимые корреляционные связи только с процессами западной формы циркуляции W. Увеличение повторяемости зональной циркуляции W и индекса NAO способствует увеличению количества осадков на юге Западной Сибири. Основные периоды колебаний рядов осадков в этом регионе и индекса NAO совпадают и составляют 5–10 лет, в низкочастотной области периоды колебаний  $\leq 30$  годам.*

*Ключевые слова: региональный климат, атмосферная циркуляция, индекс NAO, масштабы колебаний климатических параметров.*

*We present the results of correlation analysis of the recurrence rate of the North Atlantic Oscillation (NAO) index and of the number of days of each of the forms of circulation: W, Y and C, according to a classification developed by G. Ya. Vangengeim, for the period 1901–2006. It is established that the NAO index significant correlations only with the processes of the western form of circulation, W. An increase of the recurrence rate of the zonal W circulation and of the NAO index is conducive to an increase of the amount of precipitation in the south of Western Siberia. The main periods of oscillations of the series of precipitation in this region and of the NAO index coincide, ranging from 5 to 10 years; in the low-frequency region, the periods of oscillations  $\leq 30$  years.*

*Keywords: regional climate, atmospheric circulation, NAO index, magnitudes of oscillations of climatic parameters.*

### ВВЕДЕНИЕ

Причинно-следственная связь современных изменений природной среды и климата, а также влияние региональных особенностей и антропогенных факторов на эти изменения рассматриваются в настоящее время как фундаментальные проблемы для мультидисциплинарных исследований вообще и для регионального мониторинга природно-климатических изменений в частности [1]. Поскольку атмосферная циркуляция является одним из основных климатообразующих факторов, представляется необходимым изучение глобальной атмосферной циркуляции как одного из возможных механизмов генерации колебаний регионального климата.

Одна из целей нашей работы — установление корреляционных связей между изменениями индекса Северо-Атлантического колебания (NAO) и различными формами атмосферной циркуляции с использованием классификации Г. Я. Вангенгейма, а также определение периодичности колебаний рядов индексов циркуляции и одного из основных климатических параметров атмосферы — осадков.

Индекс NAO является общепризнанным для анализа климатических изменений, так как отражает планетарные колебания системы атмосфера–океан, и представляет собой суммарный показатель состояния циркуляции в средних широтах Северной Атлантики. Индекс NAO определяют как нормализованную разность давлений между двумя важными центрами действия атмосферы: Азорским максимумом и Исландским минимумом, данные о его повторяемости выставлены в Интернете [2, 3].

Классификация Г. Я. Вангенгейма основана на учете характера длинных волн тропосферы и нижней стратосферы, а следовательно, на непосредственном учете основных действующих факторов и большого комплекса параметров, их характеризующих (направление основных переносов в зоне умеренных широт, направление барических и термических градиентов в толще тропосферы, характер трансформации солнечного тепла в атмосфере, тепловое состояние подстилающей поверхности и т. д.)

Атмосферные процессы, согласно Г. Я. Вангенгейму, были обобщены в три формы общей циркуляции в пределах атлантико-евразийского сектора Северного полушария: зональную (или западную) W, восточную E, меридиональную C. При зональной форме W в толще тропосферы наблюдаются волны малой амплитуды, быстро смещающиеся с запада на восток. У земли наблюдается зональное смещение барических образований в направлении ведущего потока. Поскольку при этой форме у земли и на высотах зональные составляющие циркуляции максимально усилены, а меридиональные — ослаблены, то межширотный обмен воздушными массами значительно ослабевает.

Процессы меридиональной формы C характеризуются в тропосфере стационарными волнами большой амплитуды и являются наиболее аномальными, так как при них практически отсутствуют два важнейших центра действия — исландский и алеутский (даже зимой, когда по средним много-

летним данным они хорошо развиты). При этом гребень мощного сибирского антициклона, южная часть которого находится в субтропической зоне, соединяется с полярным антициклоном.

Процессы восточной формы E, так же, как и процессы меридиональной формы C, характеризуются в тропосфере стационарными волнами большой амплитуды. Однако локализация основных гребней и ложбин на полушарии обратна той, которая наблюдается при форме C: исландская и алеутская депрессии хорошо развиты, над Европой и Западной Америкой наблюдаются стационарные антициклоны и их гребни, сибирский Az ослаблен и смещен к западу [3].

### КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ РЯДОВ ПОВТОРЯЕМОСТИ ИНДЕКСОВ ЦИРКУЛЯЦИИ И АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

Вопросы многолетних колебаний повторяемости форм циркуляции W, E, C и связанных с ними изменений характеристик атмосферы и гидросферы рассмотрены А. А. Гирсом для периода 1900–1972 гг. [4, 5]. Анализ интегральных кривых аномалий числа дней каждой из форм циркуляции позволяет выявлять длительные периоды (эпохи), в течение которых наблюдаются систематические превышения норм повторяемости одной или двух форм циркуляции, а повторяемость остальных форм систематически оказывается ниже нормы. Таким путем было определено, что период 1900–1928 гг. относится к эпохе циркуляции W, 1929–1939 гг. — к эпохе циркуляции E, период 1940–1948 гг. отнесен к эпохе меридиональной циркуляции C, период 1949–1972 — к эпохе комбинированной циркуляции E + C [4].

В настоящей работе по методике, описанной в [4], проведен анализ повторяемости форм циркуляции по годам за период 1973–2006 гг. Данные о повторяемости форм циркуляции представлены в публикациях [5, 6]. Нами определена норма повторяемости атмосферных процессов в период 1901–2006 гг. по работе А. А. Гирса. Построенные интегральные кривые аномалий числа дней каждой из форм циркуляции позволяют сделать вывод, что период 1973–1984 гг. относится к эпохе циркуляции E, так как повторяемость процессов этой формы за рассматриваемый период превысила норму на 34 % и составила 57 % от общего числа дней за эти годы.

Повторяемость процессов форм W и C в течение этого периода была ниже нормы на 22 % и 17 % соответственно (составляла 22 % и 21 % от общего числа дней за период). Период 1985–1990 гг. является переходным (стадия эпохи): с одной стороны, он характеризовался преобладанием процессов формы E, которые превышали норму в течение всего периода, с другой, отмечалось развитие процессов формы W, повторяемость которых также превысила норму и составила 31 % от общего числа дней периода. Повторяемость процессов C была ниже нормы и составила 20 % от общего числа дней за период. Период 1991–2006 гг. можно отнести к эпохе W + C, поскольку процессы формы W превышали норму в каждом году из рассматриваемого периода (в среднем на 29 %); процессы формы C были близки к норме либо больше. Отмечается ослабление процессов E — повторяемость их была ниже нормы в 13 случаях из 16.

Атмосферную циркуляцию в Северном полушарии можно представить как процесс преобразования ее основных форм (W, E, C) или их разновидностей. Каждому из этих макропроцессов свойственно определенное и отличное от других состояние атмосферы и гидросферы. Например, в умеренной зоне Северного полушария (в частности, для районов юга Западной Сибири) процессам формы W свойственны преимущественно положительные аномалии температуры и избыток осадков, для процессов формы E характерны отрицательные аномалии температур и дефицит осадков, процессам формы C свойственны положительные аномалии температур и дефицит осадков [4, 5].

Корреляционный анализ повторяемости числа дней каждой из форм циркуляции и индекса NAO за период 1901–2006 гг. отдельно для холодного и теплого сезонов показал положительную и достаточно высокую корреляцию лишь для форм W/NAO в холодный сезон. В теплый сезон для формы W, а для меридиональных форм циркуляции E и C в оба сезона корреляция или отрицательная, или не достигает значащих величин:

W/NAO		E/NAO		C/NAO	
холодный	теплый	холодный	теплый	холодный	теплый
0,6	0,04	–0,37	0,11	–0,2	–0,24

В каждом периоде, связанном с преобладанием зональной формы W, коэффициенты корреляции индексов формы циркуляции W и NAO достигают высоких положительных значений (критерий значимости  $p < 0,05$ ) (см. таблицу). Для графического представления и исключения высокочастотных колебаний в рядах W и NAO было проведено их 10-летнее скользящее осреднение (рис. 1).

Следует отметить, что в период наибольшего потепления в последние десятилетия XX в. наблюдалось интенсивное увеличение повторяемости числа дней с формой циркуляции W и рост индекса NAO в холодное полугодие [6]. Это соответствует результатам исследований других авторов, которые показали, что долговременная тенденция повышения температуры в районах Сибири происходит в основном за счет холодного полугодия и наиболее быстрое повышение температуры наблюдалось в последнее 20-летие прошлого века (в среднем  $0,4^{\circ}/10$  лет) [7, 8].

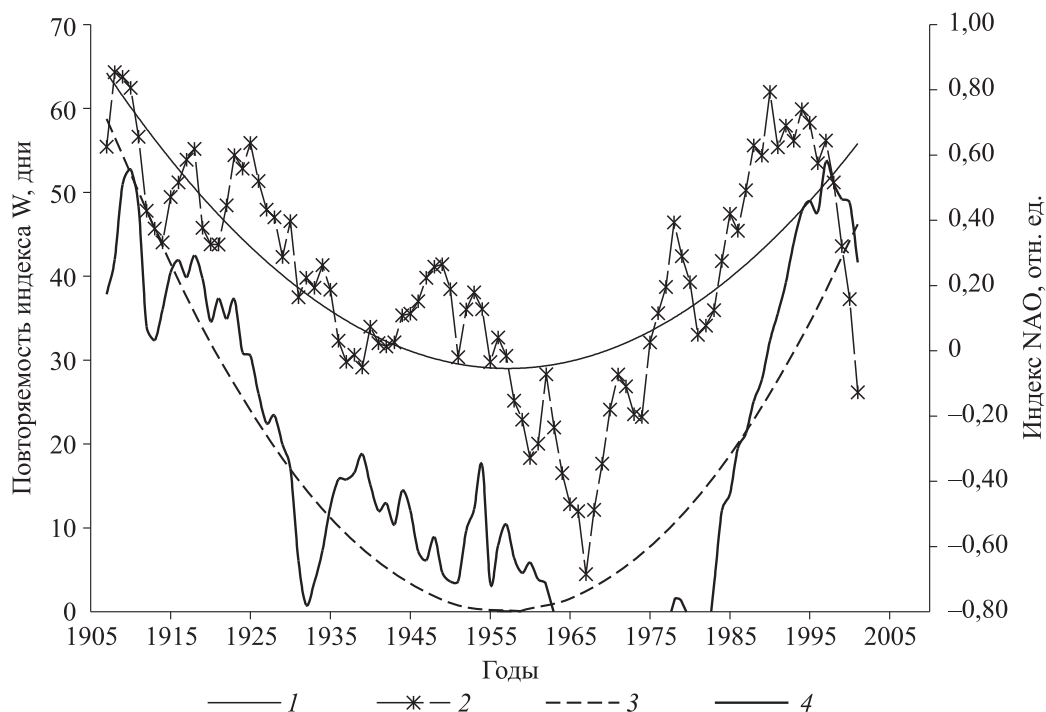
**Коэффициенты корреляции индексов формы циркуляции W и NAO в эпохи циркуляции с преобладанием формы W для холодного сезона**

Эпохи циркуляции	Годы	Коэффициенты корреляции
W	1900–1928	0,58
W+E	1985–1990	0,88
W+C	1991–2006	0,72

Наряду с температурой воздуха одним из ключевых климатических параметров являются осадки. В настоящей работе выполнен расчет их количества для периодов с формой циркуляции W с использованием данных о распределении средней суммы осадков за пентаду над Западной Сибирью при зональном типе атмосферных процессов в холодное полугодие. В 1979 г. в ЗапСибРНИГМИ разработана схема прогноза количества осадков на пять дней для южной половины Западной и Восточной Сибири, территория которой была разделена с учетом особенностей синоптических процессов и физико-географических условий на ряд районов [9, 10]. При этом осадки анализировались при различных формах атмосферной циркуляции (по Вангенгейму–Гирсу), а объединение результатов по пятидневкам, по-видимому, объясняется средней продолжительностью естественных синоптических периодов, в течение которых тип циркуляции сохраняется.

В работе нами использованы данные о пятидневных суммах осадков в зимний период, обусловленных процессами зональной формы циркуляции W. При этом полученные в ЗапСибРНИГМИ средние многолетние данные анализировались и осреднялись для южных районов Западной Сибири (юг Омской, Новосибирская, Кемеровская области, равнинная территория Алтайского края). Затем с учетом информации о годовой повторяемости процессов формы W рассчитан многолетний ряд сумм осадков, обусловленных данной формой циркуляции.

Анализ рядов 10-летних средних скользящих рассчитанного количества осадков и индекса NAO на исследуемой территории показывает их хорошее согласование (рис. 2). Коэффициент корреляции исследуемых рядов равен 0,79.



**Рис. 1.** 10-летние средние скользящие повторяемости числа дней с формой циркуляции W и индекса NAO в зимний период и их тренды.

1 — W; 2 — NAO; 3 — полиномиальный тренд W; 4 — полиномиальный тренд NAO.

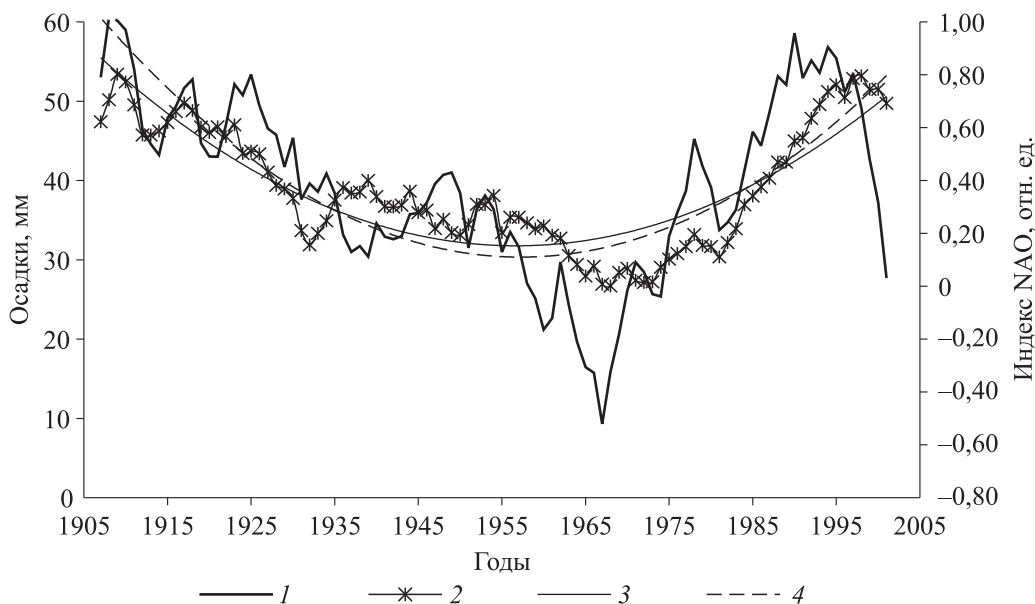


Рис. 2. 10-летние скользящие индекса NAO и количества осадков для формы циркуляции W в зимний период и их тренды.

1 — осадки; 2 — NAO; 3 — полиномиальный тренд осадков; 4 — полиномиальный тренд NAO.

Из этого следует, что при усилении зональной циркуляции (увеличении индекса W) и, соответственно, индекса NAO в холодный период усиливается вынос влажных атлантических масс на территорию Западной Сибири, что приводит к увеличению осадков и в ее южных районах.

### АНАЛИЗ ПЕРИОДИЧНОСТИ РЯДОВ NAO И ОСАДКОВ

Для выявления особенностей, связанных с временной структурой изменений климатических параметров, проведен анализ периодичности исследуемых рядов с помощью метода Уэлча (метода усреднения модифицированных периодограмм [11]), который в настоящее время является наиболее популярным периодограммным методом спектрального анализа (рис. 3, а, б). Уэлч внес в ранее известные методы два усовершенствования: использование весовой функции и разбиение сигнала на перекрывающиеся фрагменты.

Применение весовой функции позволяет ослабить растекание спектра и уменьшить смещение получаемой оценки спектра плотности мощности ценой незначительного ухудшения разрешающей способности. Перекрытие сегментов введено для того, чтобы увеличить их число и уменьшить дисперсию оценки. Дисперсия оценки, получаемой методом Уэлча, уменьшается примерно пропорционально числу сегментов. Благодаря перекрытию в методе Уэлча используется больше сегментов, поэтому дисперсия оценки спектра плотности мощности оказывается меньше, чем у ранее используемых методов [11].

Вычисления при использовании метода Уэлча производятся следующим образом: 1) вектор отсчетов сигнала делится на перекрывающиеся сегменты (как правило, на практике используется 50 %-ное перекрытие); 2) каждый сегмент умножается на используемую весовую функцию; 3) для взвешенных сегментов вычисляются модифицированные периодограммы; 4) периодограммы всех сегментов

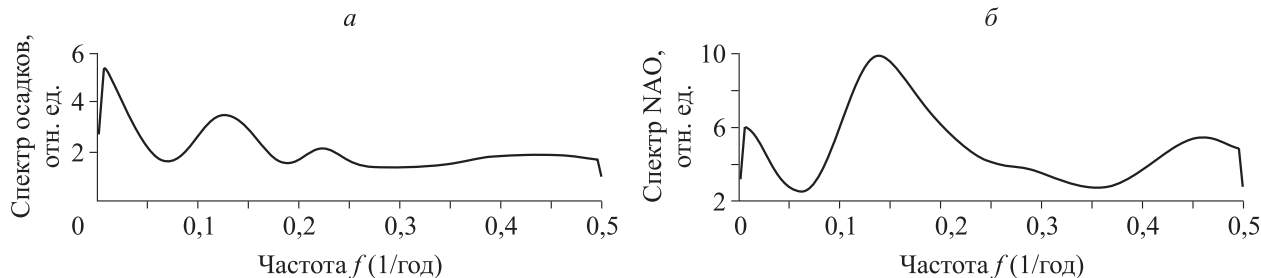


Рис. 3. Частотный спектр рядов количества осадков для формы циркуляции W в холодный период на территории Западной Сибири (а) и индекса NAO (б).

усредняются. В настоящей работе используется окно Хэмминга, длина которого выбрана так, чтобы с учетом заданного 50 %-ного перекрытия сигнал оказался разделенным на 8 частей. Метод Уэлча позволяет получить состоятельную оценку спектра сигнала за счет усреднения по 8 частям исследуемого сигнала.

Частотный спектр рядов индекса NAO и осадков, рассчитанных по описанной выше методике, представлен на рис. 3. Поскольку период колебаний  $T$  определяется как  $T = 1/f$ , где  $f$  — частота, можно определить, что основными, наиболее ярко выраженными для исследуемых рядов являются периоды колебаний 5–10 лет. Метод Уэлча не позволяет четко выявить низкочастотный максимум, однако можно сказать, что периоды колебаний в этой области около 30 лет. Период колебаний 2–4 года, который хорошо выявляется в ряду индекса NAO, на графике спектра осадков прослеживается нечетко.

Таким образом, на юге Западной Сибири индекс NAO имеет значимые корреляционные связи только с процессами зональной формы циркуляции W (по классификации Вангенгейма–Гирса) в холодный сезон. Увеличение повторяемости зональной циркуляции W и индекса NAO способствует увеличению количества осадков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Региональный мониторинг атмосферы. Ч. 4: Природно-климатические изменения** / Под ред. М. В. Кабанова. — Томск: РАСКО, 2000. — 270 с.
2. <http://www.cgu.uea.ac.uk/>
3. **Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК)**. — <http://www.ipcc.ch/>
4. **Гирс А. А.** Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. — Л.: Гидрометеоиздат, 1971. — 280 с.
5. **Гирс А. А., Кондратович К. В.** Методы долгосрочных прогнозов погоды. — Л.: Гидрометеоиздат, 1978. — 342 с.
6. **Фоновый метеорологический прогноз на январь–декабрь для полярной области Северного полушария**. — СПб: Государственный научный центр Российской Федерации Арктического и Антарктического НИИ, 1945–2006 гг.
7. **Ипполитов И. И., Кабанов М. В., Логинов С. В.** Закономерности современных природно-климатических изменений в Сибири: периодичность приземных температур, давления и некоторых геофизических индексов // География и природ. ресурсы. — 2005. — № 1. — С. 13–20.
8. **Ипполитов И. И., Кабанов М. В., Комаров А. И., Кусков А. И.** Современные природно-климатические изменения в Сибири: ход среднегодовых приземных температур и давления // География и природ. ресурсы. — 2004. — № 3. — С. 90–95.
9. **Кузьбожева Л. А.** Особенности распределения средней суммы осадков за пентаду над Западной и Восточной Сибирью при различных типах атмосферных процессов // Труды ЗапСибРНИГМИ. — 1980. — Вып. 47. — С. 56–63.
10. **Кузьбожева Л. А., Храмова И. Г.** Прогноз количества осадков на пентаду по южной половине Западной и Восточной Сибири // Труды ЗапСибРНИГМИ. — 1982. — Вып. 54. — С. 40–46.
11. **Марпл-мл. С. Л.** Цифровой спектральный анализ и его приложения. Пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 486 с.

*Институт водных и экологических проблем  
СО РАН, Барнаул*

*Поступила в редакцию  
28 сентября 2008 г.*