

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ОБСЕРВАТОРИЙ БАРРОУ И ТИКСИ (АЛЯСКА)

канд. техн. наук В.Г.ДМИТРИЕВ

ГНИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, v\_dmitriev@aari.ru

Гидрометеорологические обсерватории Барроу и Тикси входят в создаваемую международным сообществом сеть базовых станций мониторинга долговременных изменений климата Арктики, что определяет интерес к сравнительному анализу климатических характеристик Барроу и Тикси. В статье приводятся результаты предварительной оценки распределений минимальных и максимальных температур воздуха, рассчитанных по ежедневным наблюдениям за скользящие десятилетние периоды начиная с 1945 г. для Барроу и с 1932 г. для Тикси. Даны расчетные оценки первых моментов распределений как функций номера периода осреднения, и проведен предварительный анализ структуры средних температур. Выявлены положительные и отрицательные корреляционные зависимости условных средних температур при условии попадания температур в фиксированные градации. Показано, что, хотя климатические характеристики Барроу и Тикси имеют сходный характер, динамика и внутренняя структура средних температур как функций периода осреднения имеют отличия. В частности, в Барроу процессы, формирующие динамику средних температур, более интенсивны по сравнению с Тикси. Представлены оценки коэффициентов корреляции осредненных ежедневных индексов Североатлантического и Арктического колебания и средних и условных средних температур для обсерваторий Барроу и Тикси.

**Ключевые слова:** климат, Барроу, Тикси, распределения минимальных и максимальных температур, корреляционный анализ.

### ВВЕДЕНИЕ

Гидрометеорологические обсерватории Барроу и Тикси входят в создаваемую международным сообществом сеть базовых станций мониторинга долговременных изменений климата Арктики. Основой исследований изменений климата Арктики служит, в частности, анализ данных наблюдений полярных гидрометеорологических станций, в связи с чем определенный интерес представляет сравнительная оценка климатических характеристик Барроу и Тикси.

Предложенный подход к детализации некоторых расчетных характеристик климата и полученные результаты вычислений показывают, что можно выявить особенности температурного режима Барроу и Тикси, требующие внимательного климатического анализа.

В основу проведенных расчетов положен метод скользящего среднего [10] в его частотном приближении (т.е. все вероятностные характеристики, приводимые в статье, следует трактовать как выборочные оценки). В качестве основных характеристик для сравнительного анализа особенностей климатических изменений в районах гидрометеорологических обсерваторий Барроу и Тикси были выбраны упорядоченные последовательности случайных величин  $\{T_{min/max}^n\}_{n=1,2,\dots}$  — максимальных и минимальных за сутки температур воздуха, отнесенных к скользящему со сдвигом на 1 год десятилетнему периоду, здесь  $n$  — номер периода, при этом сфера анализа ограничивалась рассмотрением оценок начальных моментов первого и второго порядка [7, 8].

Выбор длительности периода мотивирован субъективными соображениями (при большем периоде степень сглаживания увеличивается, что не позволяет увидеть ряд особенностей распределений, а уменьшение периода нежелательно в силу снижения репрезентативностей выборок).

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В качестве исходных данных рассматривались ежедневные минимальные и максимальные температуры воздуха в пунктах Барроу в период 1945–2008 гг. и Тикси в период 1932–2009 гг., опубликованные на сайтах проекта «Международные арктические системы для наблюдений атмосферы» (*The International Arctic Systems for Observing the Atmosphere (IASOA)*) и Арктического и антарктического научно-исследовательского института [1, 3] соответственно. Данные были дополнены до 2010 г. наблюдениями, представленными компанией *Weather Underground, Inc.* [2]. Таким образом, объем выборки для каждой случайной величины  $T^n$  (здесь и далее символы *min* и *max* будут, по мере возможности, опускаться) составлял не менее трех с половиной тысяч наблюдений, что обеспечило репрезентативность выборок и приемлемую точность полученных оценок.

### ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ВЕРОЯТНОСТЕЙ МИНИМАЛЬНОЙ И МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Рассмотрение последовательностей плотностей распределения вероятностей  $\{f_n(T)\}_{n=1,2,\dots}$  случайных величин  $\{T^n\}_{n=1,2,\dots}$  позволяет определить некоторые общие черты климатических изменений (для выбранного «окна» осреднения). В частности, упорядоченные по  $n$  графики эмпирических функций  $f_n^*(T)$ , построенные по выборкам случайных величин  $T^n$ , дают на качественном уровне наглядное представление «динамики» изменения климата (на примере динамики распределений суточных экстремумов температур воздуха).

На рис. 1–4 приведен общий вид хронологически упорядоченных последовательностей оценок плотностей распределения вероятностей  $f_n^*(T)$  случайных величин  $T^n$  для минимальной (рис. 1, 3) и максимальной (рис. 2, 4) температуры Барроу и Тикси.

Предварительный анализ сравнения динамики временных изменений распределений температур Барроу и Тикси показывает, что в целом характер рас-

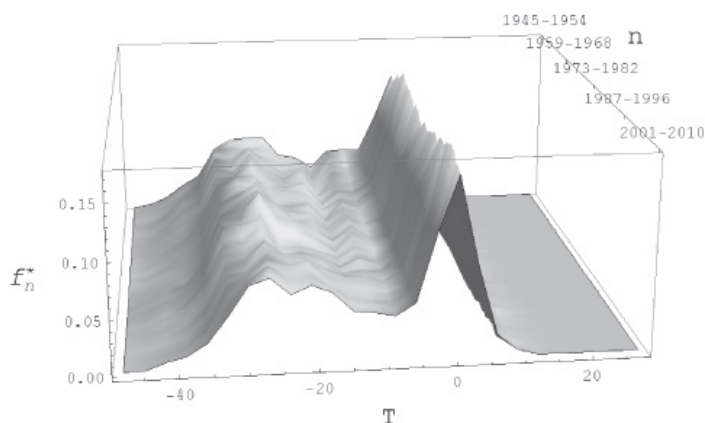


Рис. 1. Общий вид изменений во времени плотностей распределений минимальных температур в десятилетние периоды (Барроу)

Здесь и далее по оси  $n$  отложены границы десятилетия, соответствующие номеру  $n=1,2,3,\dots$

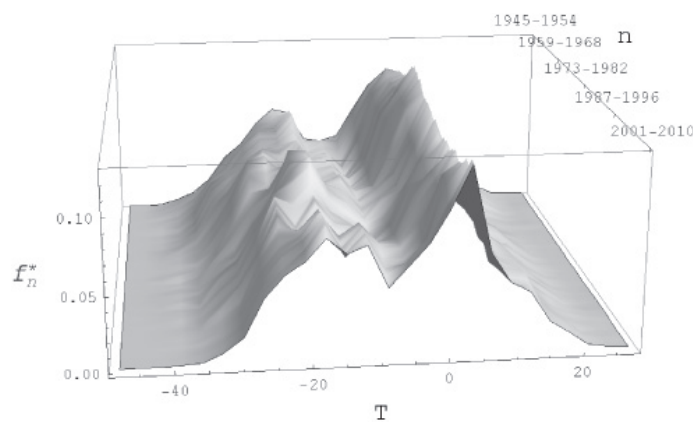


Рис. 2. Общий вид изменений во времени плотностей распределений максимальных температур в десятилетние периоды (Барроу)

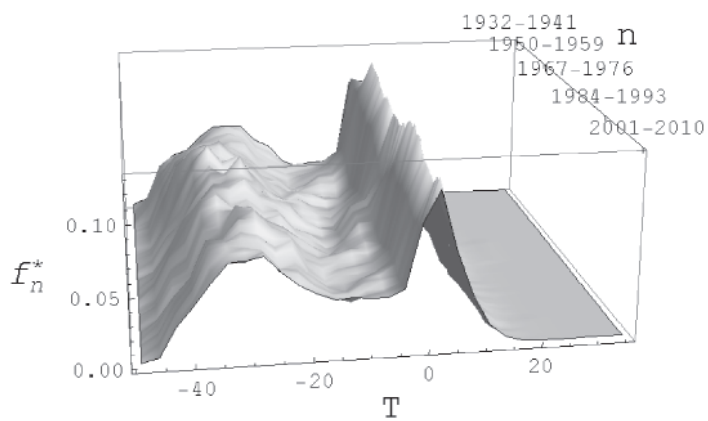


Рис. 3. Общий вид изменений во времени плотностей распределений минимальных температур в десятилетние периоды (Тикси)

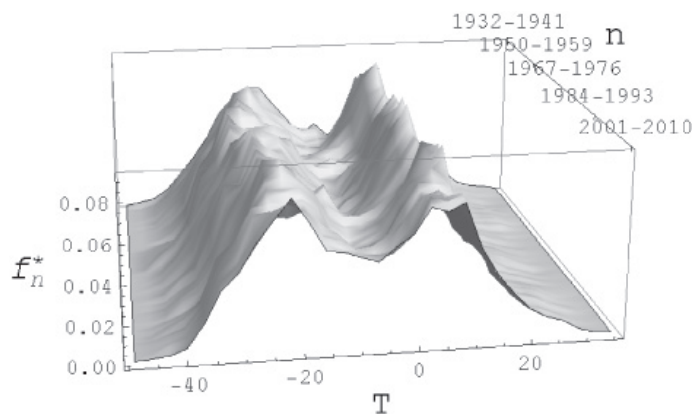


Рис. 4. Общий вид изменений во времени плотностей распределений максимальных температур в десятилетние периоды (Тикси)

пределений не претерпевает существенных изменений, при этом отчетливо проявляется бимодальность распределений, отражающая годовой ход температур с ярко выраженными холодными и теплыми периодами.

Общий вид представленных графиков позволяет предположить, что распределения температур представляют собой смеси двух унимодальных распределений с модами плотностей в окрестностях  $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (для  $T_{min}$ , Барроу),  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T_{max}$ , Барроу),  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$  (для  $T_{min}$ , Тикси),  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (для  $T_{max}$ , Тикси), соответствующих «холодному» и «теплому» периодам. Более тщательный анализ мог бы позволить уточнить границы сезонов с вычленением зимы, весны, лета и осени.

Интересно отметить, что распределения температур в окрестностях правых мод для обоих пунктов характеризуются большей степенью остроты по сравнению с распределениями низких температур (последние имеют более сглаженный характер). Другими словами, изменчивость температур в холодных диапазонах выше изменчивости высоких температур, что особенно хорошо видно для распределений минимальной температуры.

### ОЦЕНКА НАЧАЛЬНЫХ МОМЕНТОВ

Рассмотрение последовательностей осредненных за десятилетние периоды ежедневных минимальных и максимальных температур для Барроу и Тикси,  $\bar{T}_{min}^n$  и  $\bar{T}_{max}^n$  (рис. 5), а также их стандартных отклонений,  $\sigma_{T_{min}/max}^n$  (рис. 6) показывает, что климатические процессы в этих пунктах (т.е. последовательности  $T^n$  как временные ряды) не стационарны (в смысле приложения этого понятия к случайным последовательностям [9]). Значения  $\bar{T}_{max}^n$  как для Барроу, так и для Тикси убывают на первых 19-ти и 34-х скользящих десятилетиях соответственно, а начиная с 20-го периода (Барроу) и 35-го периода (Тикси) средняя максимальная температура растет. Средняя минимальная температура  $\bar{T}_{min}^n$  для Барроу ведет себя подобно  $\bar{T}_{max}^n$  со сдвигом вправо, а  $\bar{T}_{min}^n$  для Тикси ведет себя нерегулярным колебательным образом. При этом разности между наибольшим и наименьшим значениями для  $\bar{T}_{max}^n$  составляют  $2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Тикси) и  $3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Барроу), а для  $\bar{T}_{min}^n$   $1,85\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Тикси) и  $2,54\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Барроу).

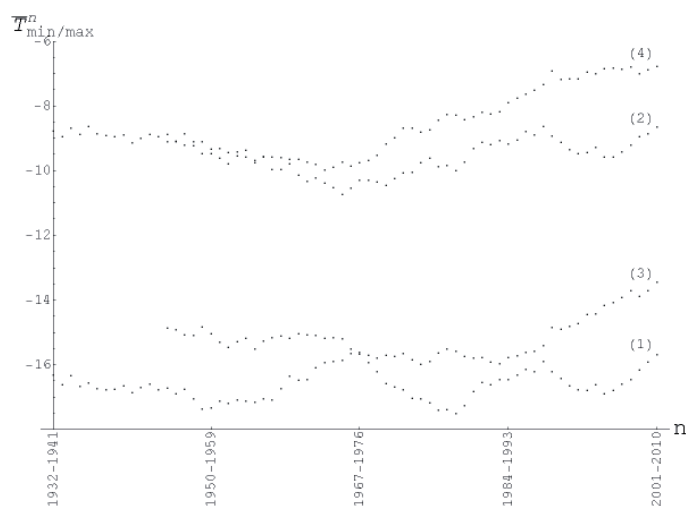


Рис. 5. Общий вид изменений во времени средних по десятилетиям минимальных ((1), (3)) и максимальных ((2), (4)) температур для Барроу ((3), (4)) и Тикси ((1), (2))

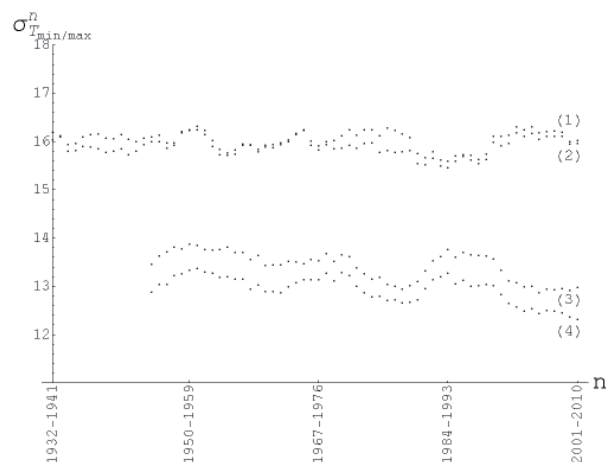


Рис. 6. Общий вид изменений во времени стандартных отклонений средних минимальных ((1), (3)) и максимальных ((2), (4)) температур для Барроу ((3), (4)) и Тикси ((1), (2))

Рис. 6 дает представление о характере изменений стандартных отклонений  $\sigma_{T_{min/max}}^n$  минимальных и максимальных температур в зависимости от номера периода  $n$ . Изменения в зависимости от  $n$  стандартных отклонений для Барроу несколько выше по сравнению с Тикси и носят более выраженный колебательный характер, при этом сами значения стандартных отклонений для Барроу меньше аналогичных показателей для Тикси. Интересно отметить, что для Барроу стандартные отклонения  $\sigma_{T_{max}}^n$  систематически меньше величин  $\sigma_{T_{min}}^n$ , в то время как для Тикси эти показатели близки.

#### ОЦЕНКА ВКЛАДОВ В СРЕДНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТДЕЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Определенный интерес представляет анализ изменений в зависимости от  $n$  минимальных и максимальных температур в различных диапазонах. Разложение средних температур  $\bar{T}^n$  на сумму условных средних  $\bar{T}_{q_i}^n$

$$\bar{T}^n = \frac{1}{N_n} \sum_k T_k^n = \frac{1}{N_n} \sum_{k: T_k^n \in q_1} T_k^n + \frac{1}{N_n} \sum_{k: T_k^n \in q_2} T_k^n + \dots = \sum_i \bar{T}_{q_i}^n, \quad (1)$$

где  $N_n$  – общее число наблюдений в  $n$ -ом периоде,  $T_k^n$  –  $k$ -ое наблюдение в  $n$ -ом периоде, а индекс  $q_i$  означает, что соответствующие температуры берутся из интервала  $q_i$  разбиения всего диапазона температур на непересекающиеся градации, позволяет оценить роль температур различных диапазонов в динамике средних. В нашем случае рассматривалось разбиение общего интервала  $Q = \{-50 \dots +35 \text{ }^\circ\text{C}\}$  на диапазоны  $q_i$  длиной по  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Ниже на рис. 7–8 в качестве иллюстрации представлены графики относительных долей  $V_i^n$  величин  $\bar{T}_{q_i}^n$  в средних температурах  $\bar{T}^n$  для Барроу (рис. 7) и Тикси (рис. 8). Здесь под  $V_i^n$  понимается величина

$$V_i^n = \frac{\bar{T}_{q_i}^n}{\sum_i |\bar{T}_{q_i}^n|} \times 100.$$

Представленные рисунки показывают, что основной вклад в значения величин  $\bar{T}^n$  вносят отрицательные температуры в диапазоне  $-40 \dots -10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

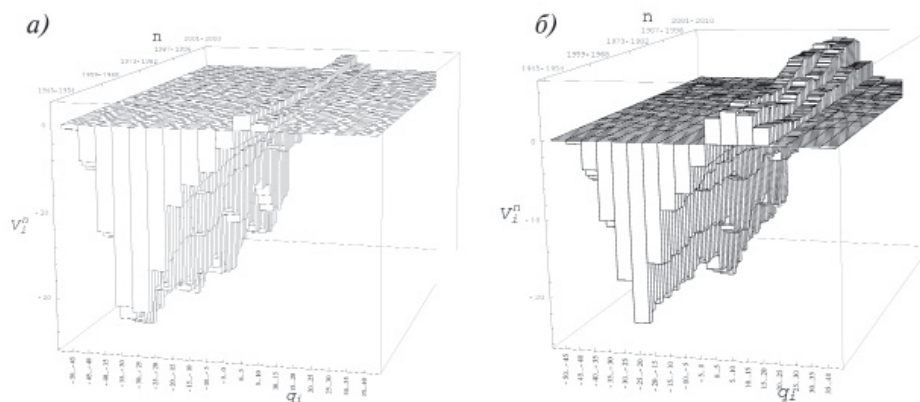


Рис. 7. Относительные доли температур различных диапазонов в средней температуре для минимальной (а) и максимальной (б) температуры в Барроу (здесь и на рис. 8 по горизонтальной оси отложены диапазоны)

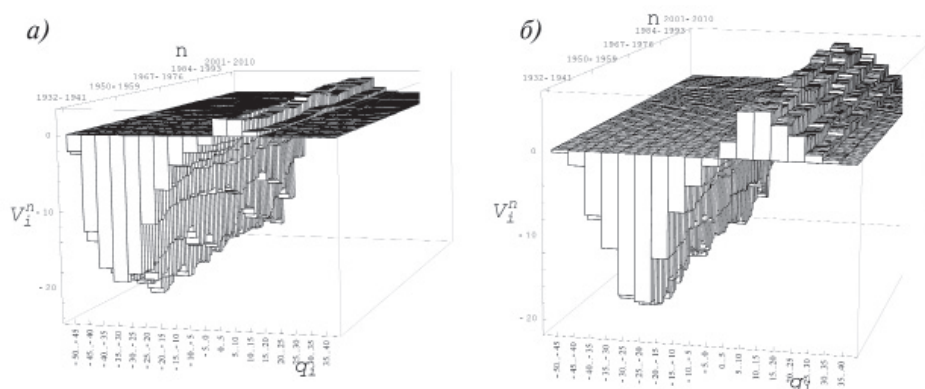


Рис. 8. Относительные доли температур различных диапазонов в средней температуре для минимальной (а) и максимальной (б) температуры в Тикси

### КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ КОМПОНЕНТ СРЕДНИХ ТЕМПЕРАТУР

Рассматривая последовательности  $\{\bar{T}^n\}_{n=1,2,\dots}$ ,  $\{\bar{T}_{q_i}^n\}_{n=1,2,\dots}$  и др. аналогичные последовательности как синхронизированные выборки случайных величин — характеристик десятилетнего периода (при этом значения, относящиеся к десятилетию с номером  $n$ , интерпретируются как наблюдения этих величин), с помощью корреляционного анализа можно оценить степень влияния температур в различных диапазонах на формирование средней температуры как временного ряда.

Ниже приводятся результаты расчета коэффициентов корреляции  $r_i^{min}$  и  $r_i^{max}$  вероятностей  $\xi_i = P\{T \in q_i\}$  попадания минимальных и максимальных температур в диапазоны  $q_i$  с величиной  $\eta = \bar{T}$ , т.е.

$$r_i^{min/max} = r(\xi_i^{min/max}, \eta^{min/max}),$$

Таблица 1

Коэффициенты корреляции динамики (по скользящим десятилетиям) вероятностей попадания минимальных и максимальных температур в диапазоны  $q_i$  с динамикой изменения средней минимальной и максимальной температуры

$i$	$q_i, ^\circ\text{C}$	Барроу		Тикси	
		$r_i^{min}$	$r_i^{max}$	$r_i^{min}$	$r_i^{max}$
1	-50...-45	-0,42	—	-0,01	-0,13
2	-45...-40	-0,64	<b>-0,84</b>	-0,68	-0,64
3	-40...-35	-0,58	<b>-0,84</b>	<b>-0,83</b>	-0,56
4	-35...-30	<b>-0,92</b>	<b>-0,94</b>	-0,17	-0,66
5	-30...-25	-0,42	<b>-0,85</b>	0,56	-0,47
6	-25...-20	0,49	-0,14	0,46	0,18
7	-20...-15	0,56	0,61	0,37	-0,12
8	-15...-10	-0,04	0,71	-0,03	0,44
9	-10...-5	0,12	0,16	0,18	<b>0,82</b>
10	-5...0	-0,01	-0,51	-0,22	0,00
11	0...5	<b>0,85</b>	-0,38	-0,15	-0,23
12	5...10	0,64	0,77	0,67	-0,19
13	10...15	0,35	<b>0,94</b>	0,69	0,75
14	15...20	—	<b>0,88</b>	0,54	<b>0,88</b>
15	20...25	—	<b>0,89</b>	—	0,44
16	25...30	—	0,51	—	0,32
17	30...35	—	—	—	0,66

Примечание: пропусками отмечены случаи, для которых вероятности попадания температур в соответствующий диапазон практически равны нулю, жирным шрифтом выделены коэффициенты, превосходящие по абсолютной величине 0,8

где символом  $P$  обозначена вероятность (частота) (табл. 1). Объемы выборочных значений для величин  $\xi_i$  и  $\eta$  составили 57 для Барроу и 70 для Тикси, что обеспечило достоверность расчетов коэффициентов  $r_i$  с 1 %-ым уровнем значимости [5].

Из табл. 1 видно (здесь и далее рассматривались коэффициенты корреляции, не меньшие 0,35 по модулю), что с изменением средней минимальной температуры Барроу положительно коррелируют вероятности попадания температуры в диапазоны -25...-15 °C и 0...15 °C, отрицательно коррелируют со значимыми коэффициентами корреляции температуры в диапазоне -50...-25 °C. При этом для диапазонов -35...-30 °C и 0...5 °C значения коэффициентов корреляции превышают по модулю 0,8.

Для Тикси средняя минимальная температура положительно коррелирует с числом случаев попадания температуры в диапазоны -30...-15 °C и 5...20 °C, значимая отрицательная корреляция наблюдается для числа случаев попадания температуры в диапазон -45...-35 °C. Наиболее строгая корреляция соответствует диапазону -40...-35 °C.

С изменением максимальной температуры Барроу положительно коррелируют вероятности попадания температуры в диапазоны -20...-10 °C и 5...30 °C, отрицательно коррелируют вероятности попадания температуры в диапазоны -45...-25 °C и -5...5 °C. Высокие значения коэффициентов корреляции наблюдаются для диапазонов -45...-25 °C и 5...25 °C.

Наконец, для Тикси средняя максимальная температура положительно коррелирует с частотой попадания температур в диапазоны -15...-5 °C и 10...35 °C, отрицательная корреляция — с частотами попадания в диапазоны -45...-25 °C.

Высокий коэффициент корреляции имеет место только для диапазонов  $-10\dots-5^\circ\text{C}$  и  $15\dots20^\circ\text{C}$ .

### ВЗАИМНЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ КОМПОНЕНТОВ СРЕДНИХ ТЕМПЕРАТУР

Расчет коэффициентов взаимной корреляции условных средних температур

$$r_{i,j} = r(\bar{T}_{q_i}, \bar{T}_{q_j}), \quad i < j$$

показывает, что для Барроу для максимальных температур (рис. 9) наблюдаются достаточно сильные отрицательные связи между величинами  $\bar{T}_{q_i}^{max}$  из диапазонов

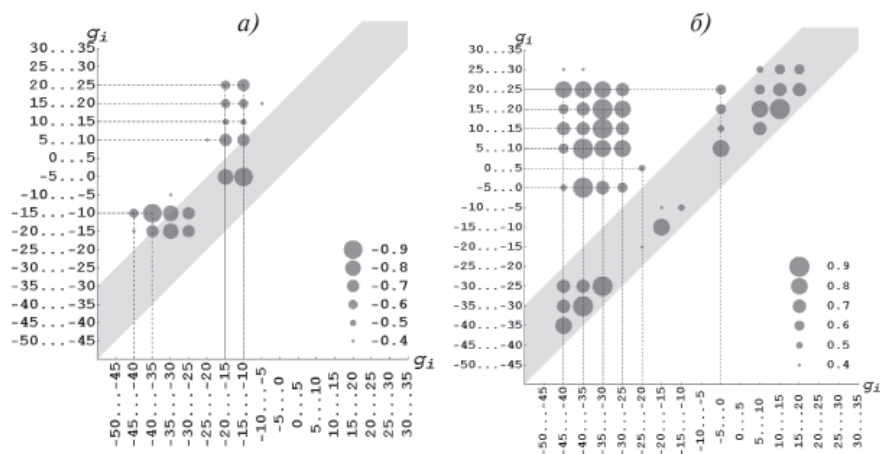


Рис. 9. Отрицательные (а) и положительные (б) коэффициенты корреляции между величинами  $\bar{T}_{q_i}^{max}$  для Барроу

*Примечание.* Здесь и далее на графиках отмечены значения  $r_{i,j}$ , которые по абсолютной величине не меньше 0,4. Величины коэффициентов пропорциональны диаметрам точек. Полосой отмечена зона близких (четырех соседних) градаций

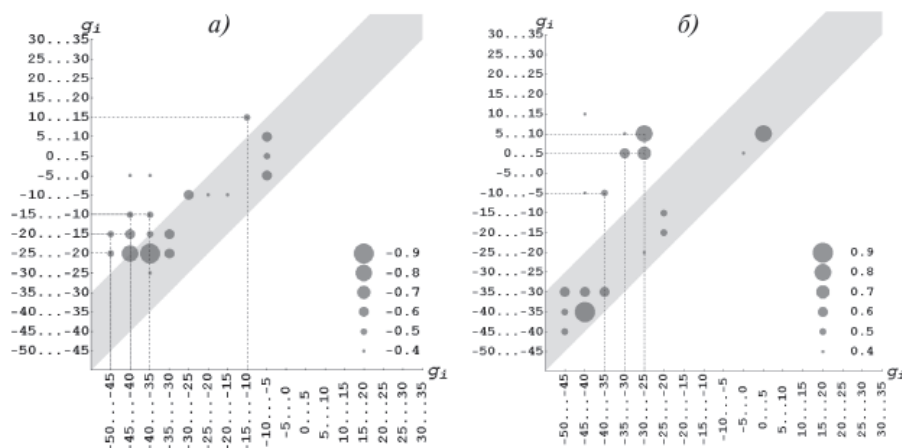


Рис. 10. Отрицательные (а) и положительные (б) коэффициенты корреляции между величинами  $\bar{T}_{q_i}^{min}$  для Барроу



–20...–10 °C и 5...25 °C (–0,5...–0,7), а также из диапазонов –45...–35 °C и –15...–10 °C (–0,9) и положительные связи между величинами  $\bar{T}_{q_i}^{max}$  из диапазонов –45...–25 °C и 5...25 °C (0,5...0,9), –45...–25 °C и –5...0 °C (0,5), а также –5...0 °C и 15–25 °C (0,6).

Для минимальных температур Барроу зависимость условных средних  $\bar{T}_{q_i}^{min}$  вне зоны близких градаций выражена значительно слабее (рис. 10), исключение составляют значимые положительные коэффициенты корреляции между условными средними  $\bar{T}_{q_i}^{min}$  из диапазонов –30...–25 °C и 0...10 °C (0,7...0,8).

Зависимости условных средних максимальных и минимальных температур для Тикси (рис. 11 и 12) в целом менее выражены по сравнению с Барроу и характеризуются значимыми отрицательными коэффициентами корреляции вне зоны близких

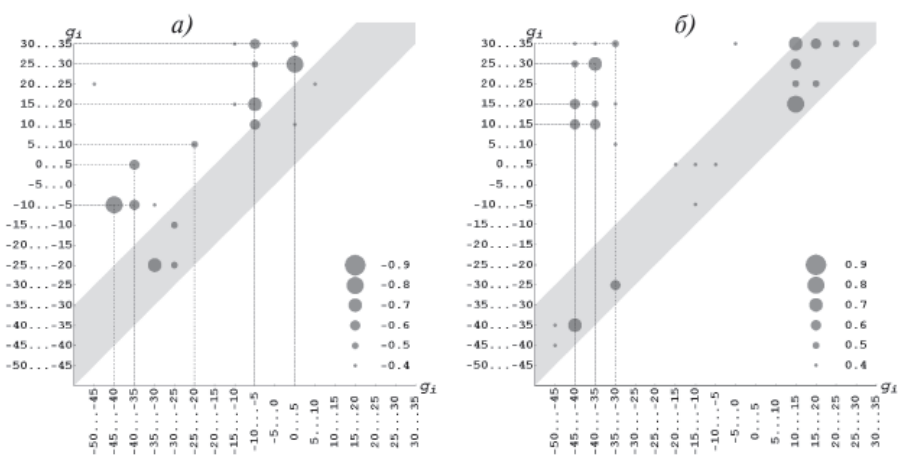


Рис. 11. Отрицательные (а) и положительные (б) коэффициенты корреляции между величинами  $\bar{T}_{q_i}^{max}$  для Тикси

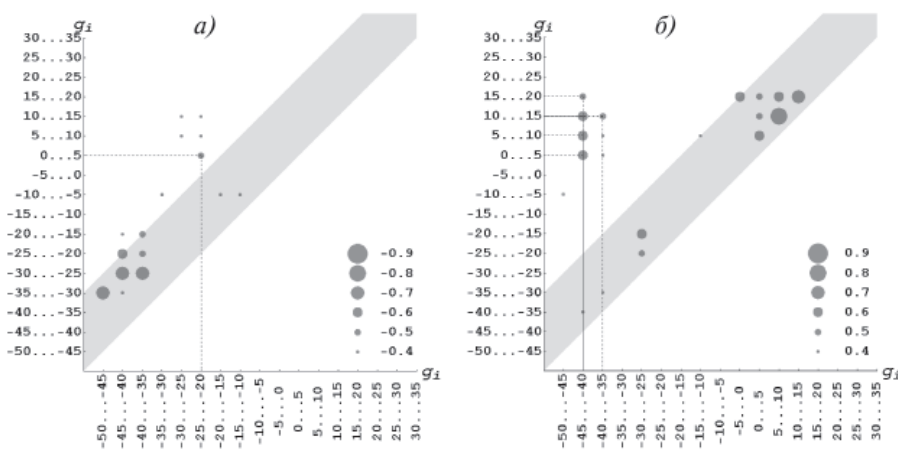


Рис. 12. Отрицательные (а) и положительные (б) коэффициенты корреляции между величинами  $\bar{T}_{q_i}^{min}$  для Тикси

градаций для  $\bar{T}_{q_i}^{max}$  в диапазонах  $-45...-40$  °C и  $-10...-5$  °C ( $-0,8$ ),  $-10...-5$  °C и  $15...20$  °C ( $-0,7$ ) и  $0...5$  °C и  $25...30$  °C ( $-0,8$ ). Положительные коэффициенты наблюдаются для максимальных температур из диапазонов  $-45...-35$  °C и  $10...30$  °C ( $0,5...0,7$ ).

Для условных средних величин  $\bar{T}_{q_i}^{min}$  в Тикси (рис. 12) значимые отрицательные коэффициенты корреляции вне зоны близких градаций практически отсутствуют (за исключением  $r_{i,j}^{min} = -0,5$  для  $\bar{T}_{q_i}^{min}$  из диапазонов  $-25...-20$  °C и  $0...5$  °C). Положительные коэффициенты корреляции имеют место для  $\bar{T}_{q_i}^{min}$  из диапазонов  $-45...-40$  °C и  $0...20$  °C ( $0,5...0,7$ ).

Значимые коэффициенты корреляции условных средних температур свидетельствуют о единых механизмах, определяющих попадание температур в эти градации (по всей видимости, разных для удаленных и близких градаций). Слабая коррелированность условных средних температур (для которых коэффициенты корреляции по абсолютной величине меньше 0,4) дает основание предполагать неустойчивый характер процессов, определяющих эти температурные диапазоны. Заметим, что для самых крайних градаций слабые корреляции могут быть следствием малого количества наблюдений.

Интересно отметить, что максимальные температуры в целом проявляют большее многообразие корреляционных связей по сравнению с минимальными температурами. Кроме того, рис. 9–12 показывают, что в Барроу процессы, формирующие динамику средних температур, более интенсивны по сравнению с Тикси.

#### АНАЛИЗ СРЕДНИХ ТЕМПЕРАТУР

Как было отмечено выше, средние десятилетние температуры можно рассматривать как случайные величины, представленные выборочными значениями, определенными по скользящим периодам. С другой стороны, каждое такое выборочное значение допускает интерпретацию как хронологически упорядоченное (по последовательным десятилетиям) наблюдение временного ряда. Такой подход позволяет с помощью корреляционного анализа оценивать взаимосвязи средних десятилетних температур в различных диапазонах (и других характеристик десятилетнего периода) как функций номера скользящего периода.

Условные средние  $\bar{T}_{q_i}$  как компоненты  $\bar{T}$  могут быть сгруппированы по знаку коэффициентов корреляции отдельных слагаемых с суммой:

$$\bar{T} = \sum_i \bar{T}_{q_i} = \sum_{r_i \geq 0} \bar{T}_{q_i} + \sum_{r_i < 0} \bar{T}_{q_i}.$$

Здесь

$$r_i = r(\bar{T}, \bar{T}_{q_i}).$$

Тогда, определяя величины

$$\bar{T}_+ = \sum_{r_i \geq 0} \bar{T}_{q_i}, \quad \bar{T}_- = \sum_{r_i < 0} \bar{T}_{q_i},$$

среднюю десятилетнюю температуру можно представить в виде двух слагаемых, которые неотрицательно и отрицательно коррелируют с суммой:

$$\bar{T} = \bar{T}_+ + \bar{T}_-. \quad (2)$$

Анализ коэффициентов корреляции  $\bar{T}$  и  $\bar{T}_\pm$  позволяет определить роль диапазонов температур в формировании средней температуры.

В табл. 2 представлены коэффициенты корреляции слагаемых в разложении (2) со случайной величиной  $\bar{T}^{min/max}$ , рассчитанных отдельно для интервалов убывания  $\Delta_{\downarrow}$  и роста  $\Delta_{\uparrow}$  средних температур для Барроу и Тикси соответственно (см. рис. 5).

Представленные результаты отражают те обстоятельства, что для минимальной температуры положительно коррелируют одновременно как с убыванием, так

Таблица 2

Коэффициенты корреляции слагаемых в разложении (2) с величинами  $\bar{T}^{min/max}$  как функциями параметра  $n$  для интервалов убывания и роста средних температур

	Барроу				Тикси			
	$\Delta_{\downarrow}^{Barrow}$		$\Delta_{\uparrow}^{Barrow}$		$\Delta_{\downarrow}^{Tiksi}$		$\Delta_{\uparrow}^{Tiksi}$	
$\bar{T}^{min}$	$\bar{T}_+^{min}$	$\bar{T}_-^{min}$	$\bar{T}_+^{min}$	$\bar{T}_-^{min}$	$\bar{T}_+^{min}$	$\bar{T}_-^{min}$	$\bar{T}_+^{min}$	$\bar{T}_-^{min}$
	0,93	-0,74	0,98	-0,68	0,92	-0,72	0,98	-0,78
$\bar{T}^{max}$	$\bar{T}_+^{max}$	$\bar{T}_-^{max}$	$\bar{T}_+^{max}$	$\bar{T}_-^{max}$	$\bar{T}_+^{max}$	$\bar{T}_-^{max}$	$\bar{T}_+^{max}$	$\bar{T}_-^{max}$
	0,92	-0,63	0,98	-0,35	0,98	-0,52	0,98	-0,79

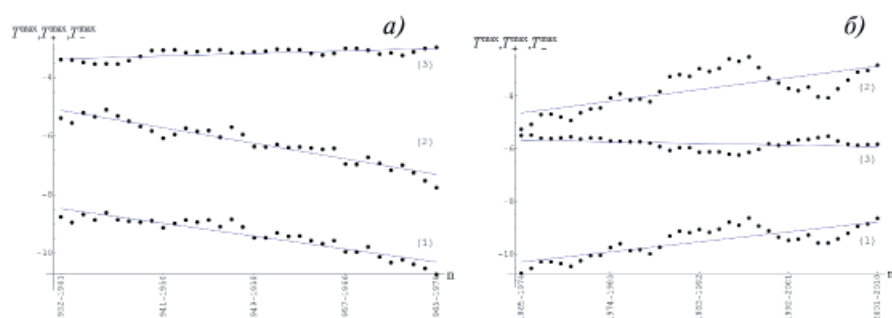


Рис. 13. Сравнение изменений  $\bar{T}^{max}$  (1),  $\bar{T}_+^{max}$  (2) и  $\bar{T}_-^{max}$  (3) на интервалах убывания (а) и возрастания (б) величины  $\bar{T}^{max}$  (как функции параметра  $n$ ) для Тикси  
Здесь и на рис. 14 сплошными линиями отмечены тренды

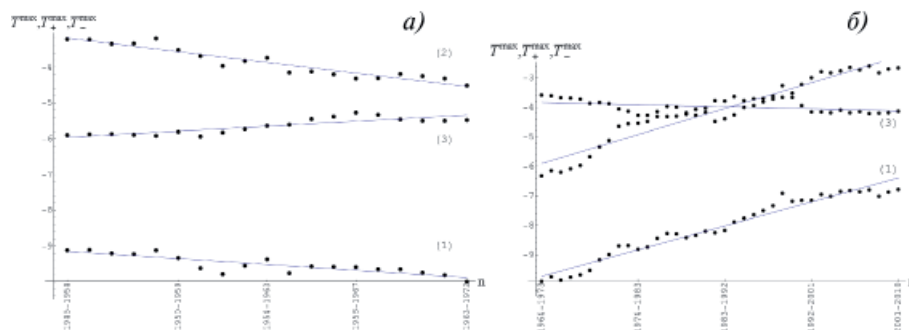


Рис. 14. Сравнение изменений  $\bar{T}^{max}$  (1),  $\bar{T}_+^{max}$  (2) и  $\bar{T}_-^{max}$  (3) на интервалах убывания (а) и возрастания (б) величины  $\bar{T}^{max}$  (как функции параметра  $n$ ) для Барроу

и возрастанием  $\bar{T}^{min}$  условные средние температуры в диапазонах  $-50...-25$  °С,  $0...15$  °С для Барроу и в диапазонах  $-45...-30$  °С,  $0-20$  °С для Тикси.

Аналогичные отрицательные коэффициенты корреляции наблюдаются для температур в диапазонах  $-25...-20$  °С,  $-10...-5$  °С для Барроу и  $-30...-15$  °С для Тикси.

Для максимальной температуры положительно коррелируют одновременно как с убыванием, так и возрастанием  $\bar{T}^{max}$  слагаемые в диапазонах  $-35...-25$  °С,

5...20 °С для Барроу и слагаемые в диапазонах –50...–25 °С, 10–35 °С для Тикси. Отрицательные коэффициенты корреляции наблюдаются для температур в диапазонах –25...–15 °С, –10...–5 °С для Барроу и –25...–20 °С, –15...–5 °С для Тикси.

Табл. 2, а также рис. 13, 14 позволяют предположить, что на изменение средних температур (как функций параметра  $n$ ) температуры в различных диапазонах оказывают разнонаправленное влияние: средние температуры в крайних диапазонах положительно коррелируют с ростом (убыванием) средних значений, в то время как средние температуры в центральных диапазонах отрицательно коррелируют с безусловной средней, что свидетельствует о наличии различных природных механизмов формирования температур в крайних и средних диапазонах.

#### ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТОВ КОРРЕЛЯЦИИ СРЕДНИХ ТЕМПЕРАТУР БАРРОУ И ТИКСИ С ИНДЕКСАМИ СЕВЕРОАТЛАНТИЧЕСКОГО И АРКТИЧЕСКОГО КОЛЕБАНИЯ

Ниже (табл. 3–4) приведены оценки коэффициентов корреляции величин  $\bar{T}$ ,  $\bar{T}_{\pm}$ ,  $\bar{T}_{q_i}$  и с осредненными по скользящим десятилетиям за период 1950–2010 гг. ежедневными значениями индекса Североатлантического колебания (САК)  $\overline{NAO}$  и Арктического колебания (АК)  $\overline{AO}$ , представленными на сайте Национального управления океанографических и атмосферных исследований США [4]:

$$r_T = r(\bar{T}, I),$$

$$r_T^{\pm} = r(\bar{T}_{\pm}, I),$$

$$r_T^i = r(\bar{T}_{q_i}, I),$$

где  $I = \overline{NAO}$  или  $\overline{AO}$  соответственно.

Графики изменения осредненных по скользящим десятилетиям ежедневных значений индексов  $\overline{NAO}$  и  $\overline{AO}$  приводятся на рис. 15.

Для Барроу данные табл. 3 демонстрируют слабые зависимости средних минимальных температур как с динамикой осредненного индекса САК, так и с динамикой индекса АК, в то время как зависимости средних максимальных температур значимы (коэффициенты  $r_{Tmax}^-$  и  $r_{Tmax}^+$  для САК (АК) имеют значения 0,56 (0,69) и 0,55 (0,65) соответственно).

Для Тикси зависимости средних минимальных температур с динамикой осредненного индекса САК практически не значимы (исключая  $r_{Tmin}^- = -0,4$ ), коэффициенты корреляции средней минимальной температуры и компонент разложения (2) с индексом АК находятся в пределах 0,4...0,46, а зависимости средних максимальных температур дают коэффициенты корреляции в пределах 0,47...0,59 для САК и в пределах 0,6...0,63 для АК (значения коэффициентов даются по абсолютной величине).

Табл. 4 показывает, что условные средние минимальные температуры Барроу значимо отрицательно коррелируют с осредненными индексами САК только

Таблица 3

#### Корреляции осредненных индексов САК и АК со средними минимальными и максимальными температурами Барроу и Тикси и с компонентами разложения (2)

ГМО	$r_{Tmin}^-$		$r_{Tmin}^+$		$r_{Tmin}^-$		$r_{Tmax}^-$		$r_{Tmax}^+$		$r_{Tmax}^-$	
	САК	АК	САК	АК	САК	АК	САК	АК	САК	АК	САК	АК
Барроу	-0,32	0	-0,25	0	0,01	0	0,56	0,69	0,55	0,65	-0,38	-0,29
Тикси	0,1	0,4	0,23	0,46	-0,4	-0,46	0,47	0,6	0,52	0,63	-0,59	-0,6

Таблица 4

Корреляции осредненных индексов САК и АК с величинами $\bar{T}_{q_i}$ для Барроу и Тикси									
$i$	$q_i, ^\circ\text{C}$	Барроу				Тикси			
		$r_{T_{min}}^i$		$r_{T_{max}}^i$		$r_{T_{min}}^i$		$r_{T_{max}}^i$	
		САК	АК	САК	АК	САК	АК	САК	АК
1	-50...-45	-0,25	-0,18	0,31	0,44	-0,53	-0,41	0,4	0,15
2	-45...-40	-0,002	0,13	0,62	0,68	0,01	0,29	0,17	0,1
3	-40...-35	0,08	0,14	0,52	0,62	0,34	0,50	0,26	0,29
4	-35...-30	-0,38	-0,12	0,48	0,48	0,78	0,74	0,66	0,81
5	-30...-25	-0,35	-0,07	-0,43	-0,06	-0,02	-0,1	0,46	0,51
6	-25...-20	-0,07	-0,06	-0,4	-0,28	-0,79	-0,77	-0,43	-0,46
7	-20...-15	0,26	0,04	-0,3	-0,31	0,34	0,23	-0,35	-0,27
8	-15...-10	-0,19	-0,04	-0,11	-0,1	-0,06	-0,28	-0,18	-0,16
9	-10...-5	0,67	0,62	0,53	0,46	-0,56	-0,47	-0,42	-0,45
10	-5...0	-0,57	-0,59	-0,5	-0,21	0,31	0,26	-0,55	-0,62
11	0...5	-0,5	-0,17	0,8	0,73	0,19	0,45	-0,25	-0,47
12	5...10	-0,49	-0,19	0,57	0,76	-0,24	0,02	0,26	0,35
13	10...15	-0,19	-0,03	0,72	0,80	-0,15	0,16	0,09	0,22
14	15...20			0,24	0,43	0,04	0,35	0,19	0,25
15	20...25			0,61	0,68			-0,23	0,004
16	25...30							0,18	0,32
17	30...35							0,36	0,54

для градаций  $-35...-25^\circ\text{C}$  и  $-5...10^\circ\text{C}$ , а с индексами АК только для градации  $-5...0^\circ\text{C}$ . Положительная корреляция с индексами САК наблюдается для диапазона  $-10...-5^\circ\text{C}$ , с индексами АК для диапазона  $-10...-5^\circ\text{C}$ .

Для Тикси условные средние минимальные температуры одновременно отрицательно коррелируют с индексами САК и АК в диапазонах  $-50...-45^\circ\text{C}$ ,  $-25...-20^\circ\text{C}$  и  $-10...-5^\circ\text{C}$ . Положительный коэффициент корреляции с индексами САК наблюдается для диапазонов  $-45...30^\circ\text{C}$  и  $-20...-15^\circ\text{C}$ , а с индексами АК – для диапазонов  $-45...30^\circ\text{C}$ ,  $-10...-5^\circ\text{C}$ ,  $0...5^\circ\text{C}$  и  $15...20^\circ\text{C}$ .

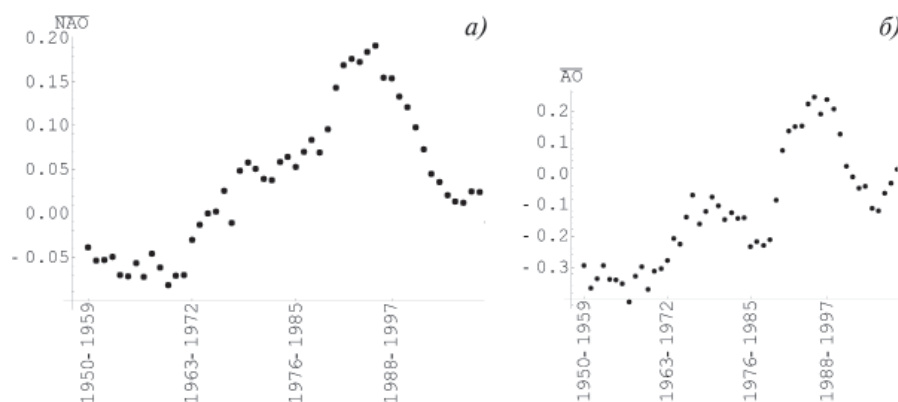


Рис. 15. Изменения осредненных по скользящим десятилетиям за период 1950–2010 гг. ежедневных значений индекса САК (а) и АК (б)

Расчет коэффициентов корреляции условных средних максимальных температур с индексами САК для Барроу показывает отрицательную корреляцию для диапазонов  $-30...-20$  °С и  $-5... 0$  °С, положительные корреляции для диапазонов  $-45...-30$  °С,  $-10...-5$  °С и  $0...25$  °С. При этом для диапазонов  $0... 5$  °С и  $10... 15$  °С коэффициент корреляции превышает значение 0,7. Значимые отрицательные коэффициенты корреляции с индексами АК не наблюдаются, а диапазоны, дающие положительные корреляции, практически совпадают с аналогичными диапазонами для САК:  $-50...-30$  °С,  $-10...-5$  °С и  $0... 25$  °С. Для температур из диапазона  $0... 15$  °С коэффициенты корреляции превышают значение 0,7.

Корреляция условных средних максимальных температур Тикси с индексами САК отрицательна для диапазонов  $-25...-15$  °С и  $-10...0$  °С, положительна для диапазонов  $-50...-45$  °С,  $-35...-25$  °С и  $30... 35$  °С. Отрицательные коэффициенты корреляции для индексов АК дают диапазоны  $-25...-20$  °С и  $-10... 5$  °С, положительные – диапазоны  $-35...-25$  °С,  $5... 10$  °С и  $30... 35$  °С. При этом для диапазона  $-35...-30$  °С коэффициент корреляции превышает значение 0,8.

Здесь, как и выше, рассматривались коэффициенты корреляции, которые по абсолютной величине не меньше 0,35.

В целом табл. 3 и 4 показывают, что корреляция с индексами САК и АК преимущественно имеет место для максимальных температур, при этом для некоторых соседних диапазонов как максимальных, так и минимальных температур наблюдаются переходы знака корреляции.

#### ВЫВОДЫ

Представленные результаты сравнительного анализа локальных климатических особенностей гидрометеорологических обсерваторий Тикси и Барроу (Аляска) на основе рассмотрения распределений экстремальных ежедневных температур по скользящим десятилетиям позволяют сделать следующие выводы:

1. Климатические характеристики Тикси и Барроу во многом имеют сходный характер, отличия касаются в первую очередь размахов абсолютных зафиксированных минимумов и максимумов температур: абсолютные минимумы рассматриваемых температур за весь период наблюдений составили  $-49,4$  °С для Барроу и  $-50,5$  °С для Тикси. Абсолютные максимумы равны  $26,1$  °С и  $34,3$  °С соответственно.

2. В целом характер распределений не претерпевает существенных изменений, при этом отчетливо проявляется бимодальность распределений, отражающая годовой ход температур с ярко выраженными холодными и теплыми периодами.

3. Климатические процессы не стационарны как для Барроу, так и для Тикси: средняя максимальная температура Барроу убывает с начала наблюдений до периода 1963–1974 гг., после чего наблюдается рост до последнего десятилетия включительно. Средняя максимальная температура Тикси убывает с начала наблюдений до периода 1965–1974 гг., после чего растет. Средняя минимальная температура для Барроу ведет себя подобно средней максимальной температуре со сдвигом вправо, а средняя минимальная температура для Тикси нерегулярно колеблется.

4. Изменчивость температурного режима как Барроу, так и Тикси в целом мало меняется (изменения для Барроу несколько выше по сравнению с Тикси и носят более выраженный колебательный характер), при этом значения стандартных отклонений меньше аналогичных показателей для Тикси.

5. Средние максимальные и минимальные температуры неравномерно формируются за счет отдельных градаций. Основной вклад в значения величин  $\bar{T}_{min}$  и  $\bar{T}_{max}$  вносят отрицательные температуры в диапазоне  $-45...-10$  °С. Роль положительных диапазонов в формировании средних температур незначительна.

6. Для максимальных температур характерно большее количество корреляционных связей между условными средними по сравнению с минимальными температурами, при этом в целом в Барроу число коррелирующих условных средних больше, чем в Тикси.

7. Величины  $\bar{T}_{min}$  и  $\bar{T}_{max}$  допускают разложение на слагаемые, положительно и отрицательно коррелирующие с суммой, при этом слагаемые, образуемые температурами в крайних диапазонах, положительно коррелируют с ростом (убыванием) средних значений, а отрицательно коррелирующие слагаемые образуют температуры в средних диапазонах, что дает основание предполагать наличие различных природных механизмов формирования температур в крайних и средних диапазонах.

8. Анализ влияния Североатлантического колебания и Арктического колебания не позволяет выделить строгих закономерностей между изменениями индекса САК и динамикой изменений средних и условных средних максимальных и минимальных температур как в Барроу, так и в Тикси. Корреляция температур с индексами САК и АК преимущественно имеет место для максимальных температур, при этом для некоторых соседних диапазонов и максимальных, и минимальных температур наблюдаются переходы знака корреляции.

9. Для максимальных температур на станции Барроу высокие (больше 0,7) положительные коэффициенты корреляции с индексами САК и АК одновременно наблюдаются только в диапазоне 0...15 °С, а для Тикси – только в диапазоне –35...–30 °С. Для минимальных температур только в Тикси имеют место высокие положительные (диапазон –35...30 °С) и отрицательные (диапазон –25...–20 °С) коэффициенты корреляции с индексами САК и АК.

*Автор выражает глубокую благодарность своим коллегам В.Ф.Радионову и А.П.Макитасу за ряд ценных замечаний и рекомендаций, которые существенно помогли при подготовке рукописи настоящей статьи.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт Арктического и антарктического научно-исследовательского института. URL: <http://www.aari.ru/resources/d0024/archive/description.html> (дата обращения 8.09.2011).
2. Официальный сайт компании Weather Underground, Inc. URL: <http://www.wunderground.com/cgi-bin/findweather/hdfForecast?query=Barrow%2C+Alaska> (дата обращения 8.09.2011).
3. Официальный сайт проекта «Международные арктические системы для наблюдений атмосферы» (The International Arctic Systems for Observing the Atmosphere (IASOA)). URL: [http://iasoa.org/iasoa/index.php?option=com\\_content&task=view&id=78&Itemid=116](http://iasoa.org/iasoa/index.php?option=com_content&task=view&id=78&Itemid=116) (дата обращения 8.09.2011).
4. Официальный сайт Национального управления океанографических и атмосферных исследований США (National Oceanic and Atmospheric Administration). URL: <ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/> (дата обращения 8.09.2011).
5. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. М.: Наука, 1971. 576 с.
6. Рожков В.А. и др. Методы и средства статистической обработки и анализа информации об обстановке в Мировом океане на примере гидрометеорологии. Обнинск: ВНИИГМИ – МЦД, 2009. 416 с.
7. Рожков В.А. Теория и методы статистического оценивания вероятностных характеристик случайных величин и функций с гидрометеорологическими примерами. Кн. I. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 340 с.
8. Рожков В.А. Теория и методы статистического оценивания вероятностных характеристик случайных величин и функций с гидрометеорологическими примерами. Кн. II. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 780 с.

9. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. М.: Наука, 1968. 464 с.
10. Хеннан Э. Многомерные временные ряды. М.: Мир, 1974. 576 с.

V.G.DMITRIEV

**ABOUT COMPARATIVE ESTIMATION OF SOME CLIMATIC  
CHARACTERISTICS OF HYDROMETEOROLOGICAL OBSERVATORIES  
IN TIKSI AND BARROW (ALASKA)**

*Hydrometeorological observatories in Barrow and Tiksi are planning to be the components of international observing networks for Arctic climate changing monitoring. So it is interesting to compare climatic characteristics in Barrow and Tiksi. In the article there are estimations of probabilistic distributions for minima and maxima air temperature calculated on the base of daily observations for sliding decades started on 1945 for Barrow and 1932 for Tiksi. First moments were estimated as functions of number of sliding decade. Decompositions of average temperatures were done. Some groups of positive and negative correlating conditional averages that fall in fixed brackets were found. It was shown that though Barrow's and Tiksi's climates are similar in some sense the internal structures of average temperatures have specific features. In particular, processes that form the «life» of average temperatures as functions of number of sliding decade in Barrow are more active. Estimations for correlations between averaged NAO and AO indexes with unconditional and conditional average temperatures are presented.*

*Keywords:* Climate, Barrow, Tiksi, distributions of minimum and maximum temperatures, average temperature, correlation analyses.