

ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ISSN 0130-3686

ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКАЯ  
АССОЦИАЦИЯ



**МАТЕРИАЛЫ  
ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**ВЫПУСК 100**

**DATA  
OF GLACIOLOGICAL  
STUDIES**

**PUBLICATION 100**

Москва

Апрель 2006

# Изменение характера циркуляции атмосферы в последние десятилетия как фактор изменения климатических и ледовых условий Арктики

Н.К. Кононова

Институт географии РАН, Москва

Рассмотрены многолетние изменения циркуляции атмосферы, метеорологических элементов по данным самых северных станций России и связь указанных характеристик с состоянием ледяного покрова Арктики.

В последние годы возросло внимание к исследованиям взаимосвязи изменения климата в Арктике и его глобальных изменений, о чем свидетельствует проведение ряда международных конференций по этой тематике, в частности Arctic Climate Impact Assessment (ACIA) (Санкт-Петербург, 27–30 мая 2001 г.) и Arctic Climate System Study (ACSYS) (Санкт-Петербург, 11–14 ноября 2003 г.). Настоящая статья — продолжение работ, доложенных на этих конференциях [21, 22]. В ней показана роль циркуляции атмосферы Северного полушария в происходящих изменениях.

Для решения поставленной задачи была использована типизация циркуляционных процессов Северного полушария, разработанная Б.Л. Дзердзеевским, В.М. Курганской и З.М. Витвицкой [5] и относящиеся к ней материалы: Календарь последовательной смены элементарных циркуляционных механизмов (сокращенно ЭЦМ), публикуемый по мере его составления [4, 9, 10], и таблицы месячной и годовой продолжительности ЭЦМ и групп ЭЦМ за 1899–2004 гг., также частично опубликованные [16, 18]. Данные по ледовому режиму взяты из литературных источников. Изменения температуры воздуха и атмосферных осадков в высоких широтах проанализированы по материалам архива Г.В. Груза и Э.Я. Раньковой [2, 3, 14].

## Влияние изменения продолжительности циркуляционных механизмов разных типов на климат в Арктике

В нашей предыдущей работе [10] были приведены основные сведения о типизации циркуляционных процессов Северного полушария, разработанной под руководством Б.Л. Дзердзеевского, и на ее основе проанализированы многолетние изменения характеристик циркуляции атмосферы за 1899–2002 гг. Здесь приведем примеры схем ЭЦМ, относящихся к различным группам циркуляции (рис. 1), и многолетний ход обобщенных групп циркуляции за 1899–2004 гг. (рис. 2).

*ЭЦМ 1a*, схема которого приведена на рис. 1a, относится к группе зональной циркуляции, при которой в полярной области располагается антициклон, окруженный кольцом циклонов. Это кольцо пополняется выходами южных циклонов. Блокирующие процессы (арктические вторжения) отсутствуют.

*ЭЦМ 3* (см. рис. 1б) относится к группе нарушения зональности. От зональной указанная группа отличается наличием одного блокирующего процесса в каком-либо секторе Северного полушария.

*ЭЦМ 12a* (см. рис. 1в) относится к группе меридиональной северной циркуляции. Для этого макропроцесса характерен наиболее интенсивный межширотный обмен, так как формируются мощный арктический антициклон, четыре блокирующих процесса и четыре выхода южных циклонов.

*ЭЦМ 13з* (см. рис. 1г) относится к группе меридиональной южной циркуляции. Характерная особенность этой группы — циклоническая циркуляция над Арктикой. Она определяется развитием циклонической деятельности на арктическом фронте и в особенности регенерацией на нем приходящих с юга в высокие широты окклюзированных циклонов. Южные циклоны при ЭЦМ 13з выходят в трех секторах: Европейском, Атлантическом и Тихоокеанском. Это макропроцесс холодного полугодия. Самые мощные континентальные антициклоны формируются над Северной Америкой и Восточной Сибирью, наиболее интенсивная циклоническая деятельность развивается над Атлантическим и Тихим океанами. В теплое полугодие при ЭЦМ 13л отмечается четыре выхода южных циклонов.

С 1899 по 2004 г. отмечаются три циркуляционные эпохи (см. рис. 2): две меридиональные (с начала прошлого века по 1915 г. и с 1957 г. по настоящее время) и зональная (1916–1956 гг.). В климатическом отношении первая эпоха (меридиональная) была эпохой похолодания (рис. 3), а вторая (зональная) — эпохой потепления в Северном полушарии в целом [10]. Потепление было особенно заметно в высоких широтах, поэтому вошло в литературу как потепление Арктики. В новую меридиональную эпоху суммарная продолжительность меридиональных процессов оказалась существенно больше, чем в первую эпоху. Максимальная их продолжительность приходится на последнее десятилетие (см. рис. 2a).

Различия между двумя меридиональными эпохами заключаются также в соотношении меридиональной северной и южной составляющих циркуляции. На рис. 2б представлены отклонения средних десятилетних скользящих значений продолжительности трех обобщенных групп циркуляции (зональной,

меридиональной северной и меридиональной южной) от соответствующих средних за 1899–2004 гг. Обращает на себя внимание постоянный рост продолжительности меридиональной южной циркуляции в течение всего XX в. В последнее десятилетие (1995–2004 гг.) суммарная за год продолжительность макроциркуляционных процессов с циклонической циркуляцией на Северном полюсе (ЭЦМ 13з и 13л) превышает среднюю величину за 1899–2004 гг. на 79 дней, или в 3 раза. В климатическом отношении период положительных отклонений продолжительности ЭЦМ меридиональной северной группы в третьей

эпохе (1960–1969 гг.) также отмечен некоторым похолоданием (см. рис. 3), а в последние десятилетия при максимальной за все время наблюдений продолжительности ЭЦМ меридиональной южной группы отмечается потепление.

Как видно из табл. 1, характер современной циркуляции атмосферы определяется сочетанием двух меридиональных групп. Их суммарная продолжительность в среднем за 1995–2004 гг. составляет 316 дней в году, следовательно, меридиональная южная циркуляция чаще всего сменяется меридиональной северной. В настоящее время группа меридио-

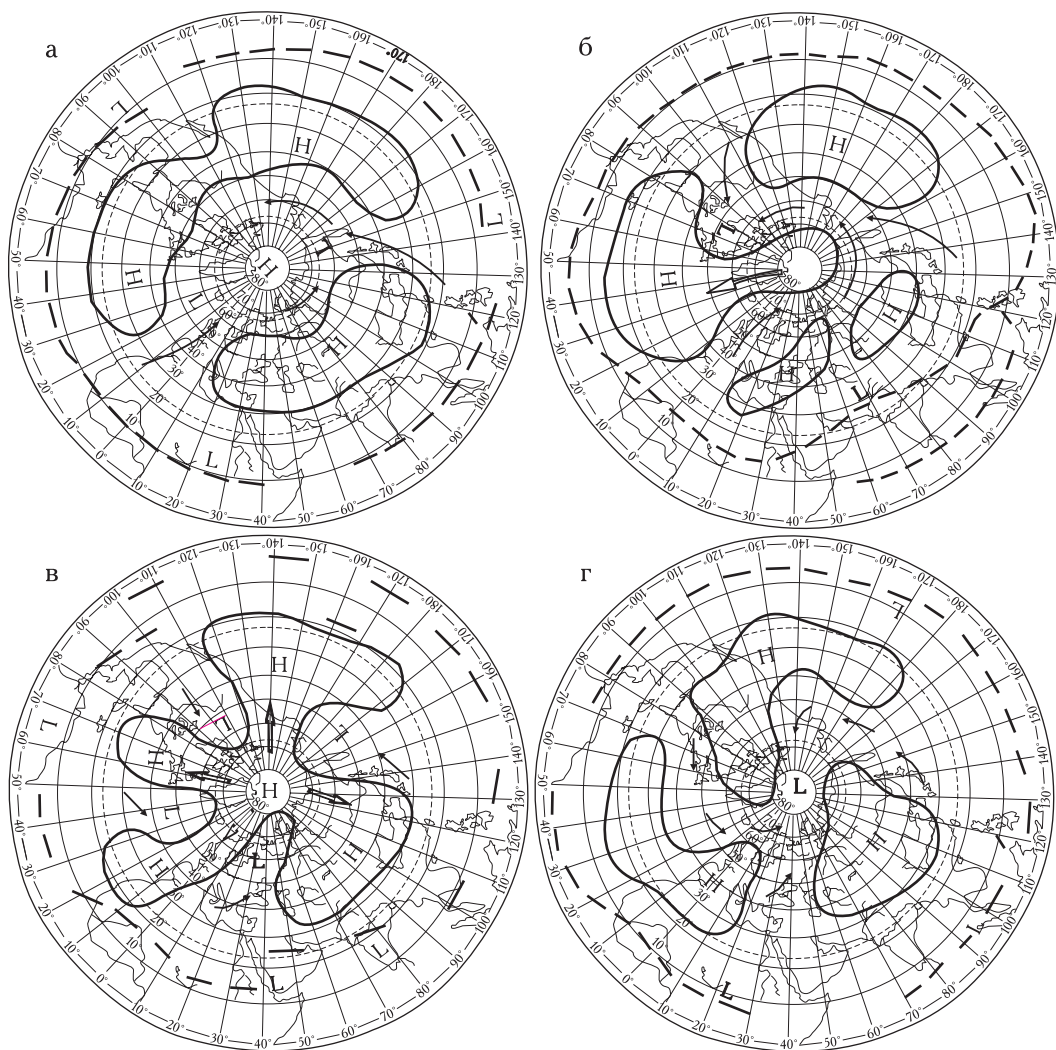


Рис. 1. Динамические схемы ЭЦМ разных групп циркуляции: а — ЭЦМ 1а (группа зональной циркуляции, типы 1–2), антициклон над Арктикой, отсутствие блокирующих процессов, два выхода южных циклонов в разных секторах полушария; б — ЭЦМ 3 (группа нарушения зональности, типы 3–7), антициклон над Арктикой, один блокирующий процесс в каком-либо секторе полушария, три одновременных выхода южных циклонов; в — ЭЦМ 12а (группа меридиональной северной циркуляции, типы 8–12), антициклон над Арктикой, четыре блокирующих процесса и четыре выхода южных циклонов; г — ЭЦМ 13з (группа меридиональной южной циркуляции, тип 13), циклон над Арктикой, отсутствие блокирующих процессов, три выхода южных циклонов)

Fig. 1. Dynamic schemes of ECM of different circulation groups: а — ECM 1a (zonal circulation group, types 1–2), anticyclone above the Arctic, absence of blocking processes, two appearances of southern cyclones in different sectors of the hemisphere; б — ECM 3 (disturbance of zonation group, types 3–7), anticyclone above the Arctic, one blocking process in some sector of the hemisphere, three simultaneous appearances of southern cyclones; в — ECM 12a (meridional northern circulation group, types 8–12), anticyclone above the Arctic, four blocking processes and four appearances of southern cyclones; г — ECM 13z (meridional southern circulation group, type 13), cyclone above the Arctic, absence of blocking processes, three appearances of southern cyclones)

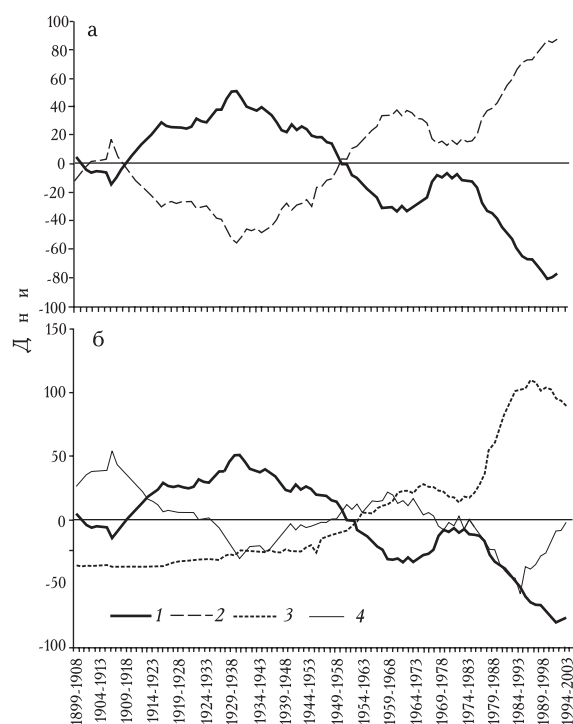


Рис. 2. Суммарная годовая продолжительность групп циркуляции в отклонениях от соответствующих средних (десятилетние скользящие средние): 1 — зональная и нарушение зональности; 2 — меридиональная (северная и южная) (а); 3 — меридиональная южная, 4 — меридиональная северная (б)

Fig. 2. Total annual duration of circulation groups in deviations from the corresponding average (decade running average): 1 — meridional (northern and southern), 2 — zonal and disturbance of zonation (a); 3 — meridional northern, 4 — meridional southern, 5 — zonal and disturbance of zonation (б)

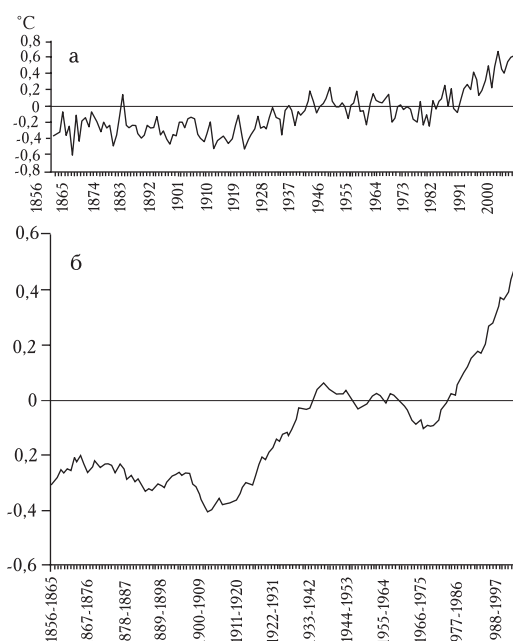


Рис. 3. Отклонения средней годовой температуры воздуха в Северном полушарии от средней многолетней нормы: годовые величины (а), 10-летние скользящие средние (б)

Fig. 3. Deviations of average annual air temperature in the Northern Hemisphere from the mean value for many years: annual values (a), decade running average (б)

нальной северной циркуляции представлена в основном процессами 12-го типа (рис. 4), при котором формируется мощный антициклон в полярной области, три-четыре одновременных арктических вторжения в разные сектора полушария и 3–4 выхода южных циклонов, что обеспечивает максимально возможную макротурбулентность на всем полушарии.

Таблица 1

Суммарная годовая продолжительность групп циркуляции (в днях) в экстремальные десятилетия циркуляционных эпох\*

Периоды, годы	Продолжительность групп циркуляции**					
	Мс	Нз	Мю	З	Мс+Мю	З+Нз
1899–2004	196 274 (1915)	95 163 (1945)	45 201 (1989)	29 86 (1938)	241 346 (2000)	124 230 (1932)
1906–1915	246 274 (1915)	97 116 (1910)	4 7 (1910)	18 30 (1913)	250 278 (1915)	115 140 (1913)
1930–1939	168 206 (1933)	135 159 (1931)	13 45 (1937)	49 86 (1938)	181 209 (1933)	184 230 (1932)
1960–1969	216 268 (1969)	71 93 (1964)	52 94 (1964)	26 53 (1962)	268 314 (1969)	97 130 (1962)
1988–1997	155 215 (1995)	42 57 (1995)	149 201 (1989)	19 63 (1992)	304 338 (1993)	61 98 (1992)
1995–2004	192 215 (1995)	42 59 (1998)	124 179 (1997)	8 21 (2004)	316 346 (2000)	50 74 (1998)

\* Вверху — средняя продолжительность, внизу — максимальная продолжительность (в скобках — годы экстремумов).

\*\* Мс — меридиональная северная, Нз — нарушение зональности, Мю — меридиональная южная, З — зональная.

В 2001 г. суммарная продолжительность ЭЦМ 12-го типа составила 106 дней, в 2002 г. — 102 дня, в 2003 г. — 108 дней, в 2004 г. — 78 дней. Чередование указанных ЭЦМ с ЭЦМ 13-го типа означает постоянную смену антициклонического режима циклоническим в полярной области и создает наилучшие условия для обострения атмосферных фронтов, формирования обильных осадков и резких контрастов температуры воздуха. Наиболее велики положительные отклонения ЭЦМ 12а, динамическая схема которого представлена на рис. 1в.

В табл. 2 представлена повторяемость переходов ЭЦМ 12а в ЭЦМ 13з и 13л, а ЭЦМ 13з и 13л — в 12а. Данные за 1899–1923 и 1924–1954 гг. заимствованы из [19]. Как видно из табл. 2, в 1899–1923 гг. таких чередований не было совсем. В 1924–1954 гг. ЭЦМ 12а пе-

Таблица 2  
Повторяемость чередований (%) ЭЦМ 12а, 13з и 13л в 1899–1923, 1924–1954 и в 1993–2002 гг.

Период, годы	Исходные ЭЦМ	Конечные ЭЦМ		
		12а	13з	13л тип 13
1899–1923	12а			
1924–1954				4
1993–2002			9	18
1899–1923	тип 13			
1924–1954		2		
1993–2002	13з	10		1,5
	13л	12	1,7	
	тип 13	22		

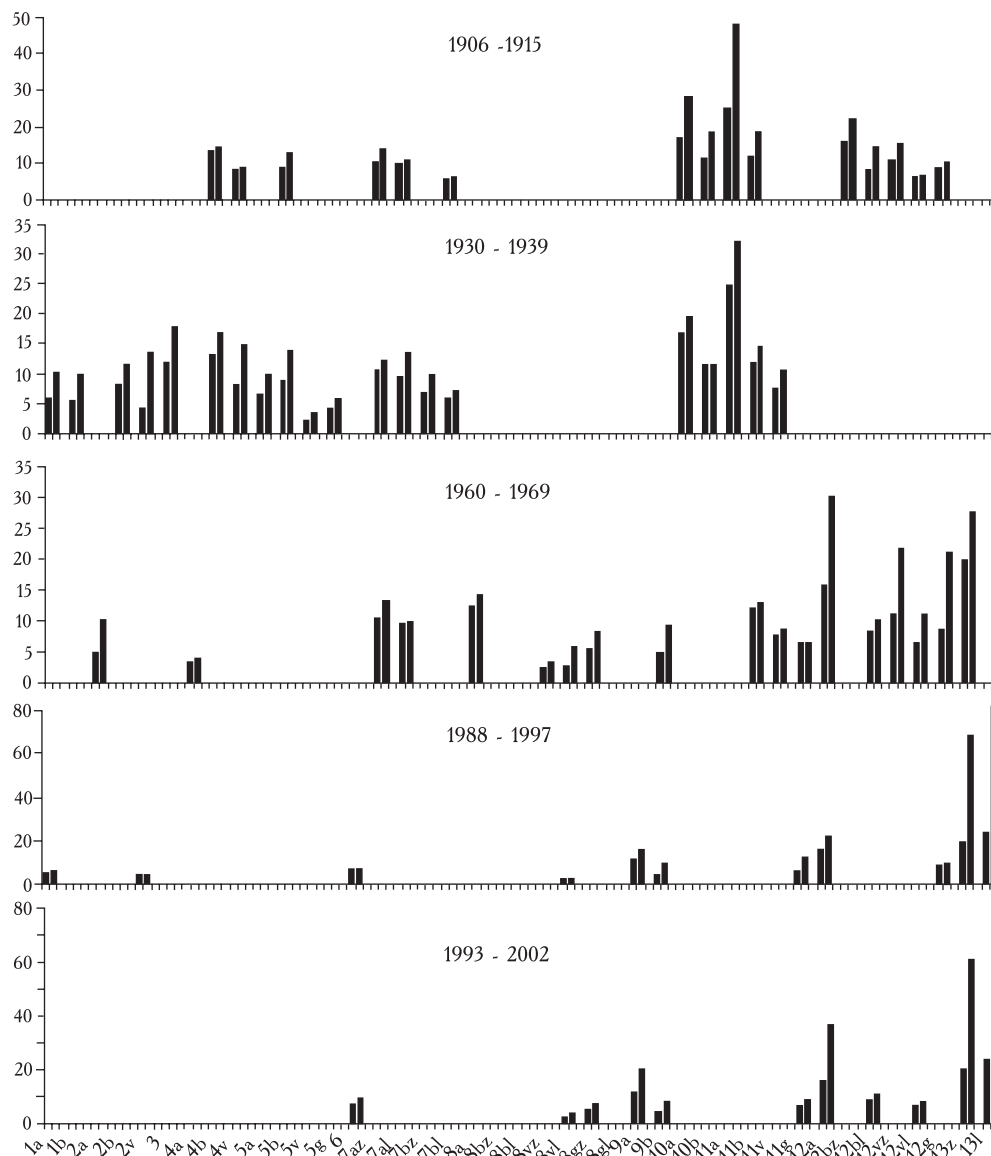


Рис. 4. Продолжительность ЭЦМ, превышающих среднюю многолетнюю величину в экстремальные десятилетия циркуляционных эпох

Fig. 4. Duration of ECM exceeding the mean value for many years in extreme decades of circulation epochs

реходил в один из ЭЦМ 13-го типа в 4% случаев, а ЭЦМ 13з или 13л — в 12а в 2% случаев. В последнее десятилетие количество таких переходов возрастает в несколько раз: общее число переходов в 13-й тип составляет 27% всех переходов ЭЦМ 12а, а число обратных переходов — 22%. Как уже отмечалось, такая смена циркуляционных процессов вызывает неустойчивость циркуляции атмосферы и погоды в Арктике.

**Влияние смещения Арктического антициклона на климат Арктики**

При всех ЭЦМ с антициклоническим режимом в Арктике имело место смещение арктического антициклона от полюса к берегам Чукотки, в результате чего западные районы Арктики оказались в циклонической области. Впервые это было выявлено в 1962 г. [11] на примере двух десятилетий: 1906–1915 и 1944–1953 гг. — экстремальных по продолжительности широтной и долготной циркуляции в Восточ-

ной Сибири. Затем суммарные сборно-кинематические карты из этой статьи (рис. 5а, б) были приведены Б.Л. Дзержевским [4] в обзоре работ Отдела климатологии Института географии. На картах представлено количество и распределение в Арктическом бассейне и на территории Восточной Сибири центров и гребней антициклонов при ЭЦМ 11а в указанных десятилетиях. Помимо уменьшения во втором десятилетии числа антициклонических центров и сокращения территории, занятой антициклонами, видно смещение антициклонической области к востоку, особенно значительное в высоких широтах Евразии. Благодаря этому, атлантические циклоны на широте Полярного круга достигали 130° в.д. В 1984 г. С.С. Савина и Л.В. Хмелевская [15] опубликовали средние карты атмосферного давления на уровне моря для всех ЭЦМ за 1970–1978 гг. Приведем такую карту для наиболее характерного зимнего макропроцесса — ЭЦМ 11а (см. рис. 5в). Как видно, в

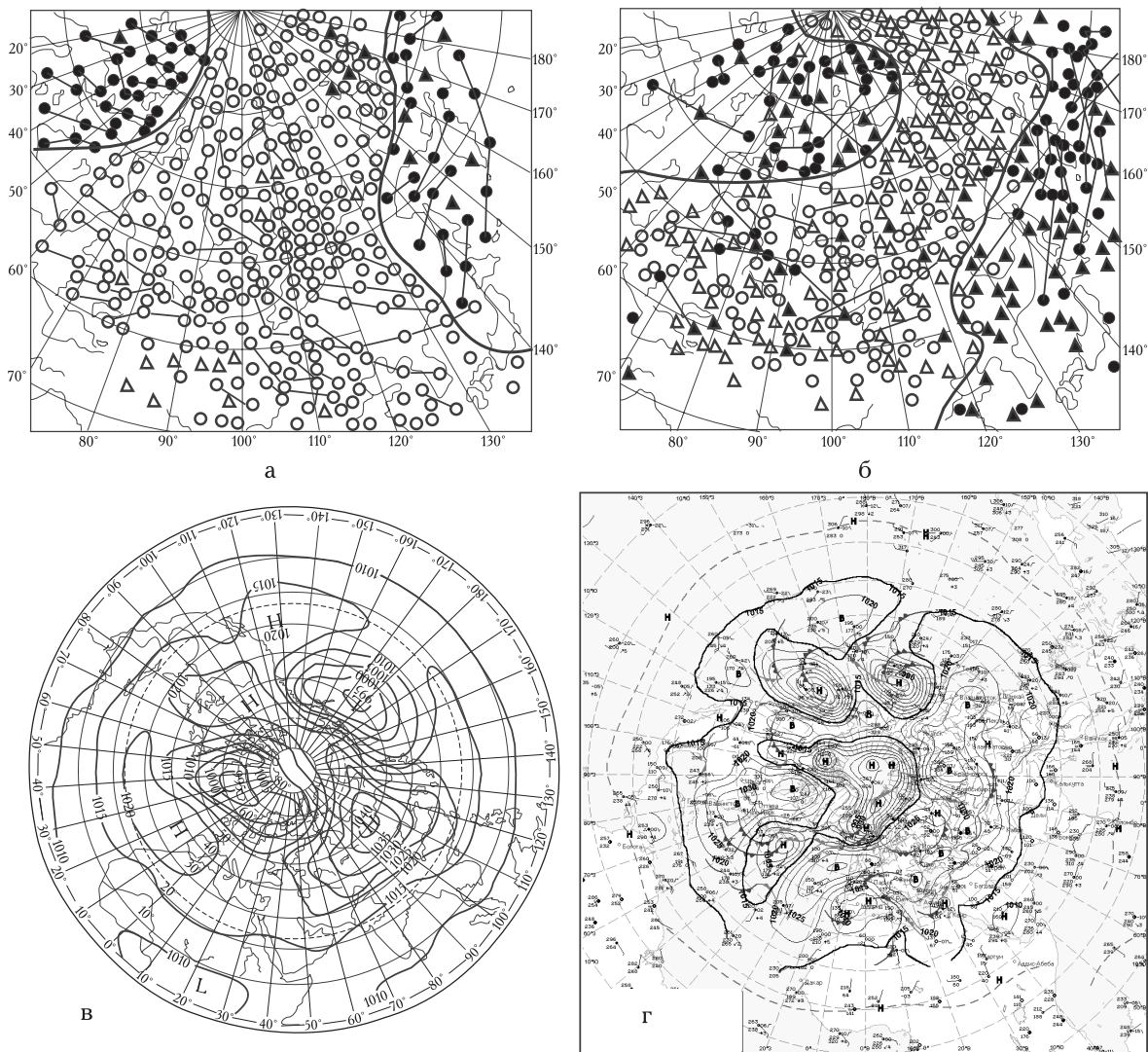


Рис. 5. Смещение осей арктических вторжений при ЭЦМ 11а. Положение антициклонов в 1906–1915 (а), 1944–1953(б), 1970–1978 (в) гг. по [15] и карта погоды 4 декабря 2003 г. (г)  
 Fig. 5. Shift of axes of Arctic intrusions under ECM 11a. Situation of anticyclones in 1906–1915 (а), 1944–1953 (б), 1970–1978 (в) by [15] and weather map for December 4, 2003 (г)

этот период уже вся область к северу от 80° с.ш. свободна от антициклона. Узкая полоса высокого давления в районе Чукотки связывает сибирский и американский антициклоны. Циклонической циркуляцией охвачена большая часть Арктики. Для сравнения приведем одну из последних карт этого макропроцесса (см. рис. 5 г), на которой выделена изолиния 1015 гПа, разграничивающая области повышенного и пониженного давления. Благодаря этому видно, что полоса высокого давления, связывающая материковые антициклоны, еще дальше отодвинулась от Северного полюса к Чукотскому полуострову и стала еще уже. В результате такого смещения в последнее десятилетие продолжительность циклонической циркуляции в Европейском секторе Арктики превысила среднюю за 1899–2003 гг. на 73 дня, в Сибирском — на 31 день, а в Дальневосточном оказалась ниже средней на 79 дней.

А.Г. Егоров [6], анализируя многолетнюю барическую волну в приземной атмосфере Арктики за 1923–2002 гг. на основе среднемесячных значений приземного давления воздуха за октябрь–апрель, установил, что между обширными регионами приатлантической и притихоокеанской Арктики формируются аномалии приземного давления противоположного знака, разделенные узловой линией, вблизи которой изменения давления отсутствуют. В 1923–1995 гг. узловая линия постепенно сместилась из района Исландского минимума через акваторию Северного Ледовитого океана в район Алеутского минимума и в 1986–1995 гг. находилась в Чукотском море. Это хорошо согласуется со смещением центра арктического антициклона при ЭЦМ с блокирующими процессами в том же направлении. Смещение арктического антициклона к берегам Чукотки благоприятствует продвижению циклонов по северу России далее на восток. Усиление циклонической циркуляции в Европейском секторе Арктики по расчетам Ю.А. Израэля с соавторами [8] привело к некоторому повышению приземной температуры воздуха в холодном поясе Европейской России и Западной Сибири и увеличе-

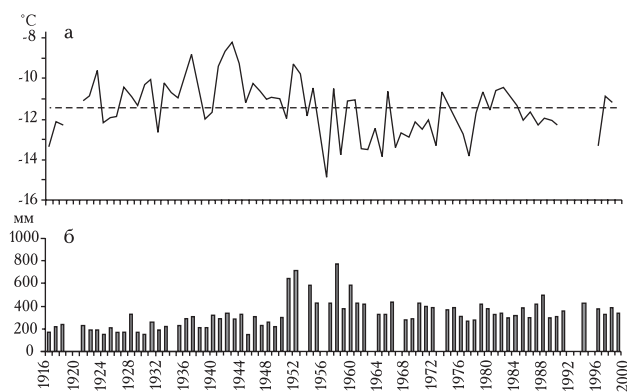


Рис. 6. Средняя годовая температура воздуха (а) и годовые суммы осадков (б) по данным станции о. Диксон  
 Fig. 6. Mean annual air temperature (a) and annual sums of precipitation (б) by data of the Dixon Island station

нию сумм атмосферных осадков в 1980–90-е годы по сравнению с 1960–1995 гг. В [17] сравниваются данные станций, расположенных севернее 61° с.ш., за 1936–1965 и 1966–1995 гг. Похолодание, отмеченное во втором периоде, косвенно свидетельствует о том, что в районах рассмотренных станций потепление 1930-х годов больше, чем в конце 1980-х — первой половине 1990-х годов.

Анализ данных прибрежных станций севера России по материалам архива Г.В. Груза и Э.Я. Раньковой в экстремальные десятилетия циркуляционных эпох показал несколько иную картину. Наибольшее повышение средней годовой температуры воздуха в период максимальной продолжительности меридиональной южной циркуляции (1980–90-е годы) отмечается на Европейском севере. На севере Западной Сибири положительные отклонения уменьшаются, а с долготы Енисея (о. Диксон) самые большие положительные отклонения температуры приходятся на зональную эпоху, период потепления Арктики (рис. 6). Небольшой всплеск заметен в 1984–1989 гг., после чего намечается понижение температуры. В многолетнем ходе осадков отмечается их увеличение в 1960-е годы, когда выше средней была продолжительность и меридиональной северной, и меридиональной южной циркуляции (см. рис. 2б). Затем годовые суммы осадков уменьшаются, но продолжают оставаться выше средней многолетней нормы за весь период наблюдений (326 мм).

#### Особенности изменения метеорологических параметров в разных секторах Арктики

Изменение температуры воздуха и атмосферных осадков по данным самых северных станций России, расположенных в разных секторах Арктики, по циркуляционным сезонам в экстремальные десятилетия циркуляционных эпох приведены в табл. 3. В типизации Б.Л. Дзержеевского выделяется шесть циркуляционных сезонов: предвесенье, весна, лето, осень, предзимье, зима [5]. Каждому сезону соответствует определенный набор ЭЦМ. Границы сезонов в каждом году определяются характером циркуляции атмосферы. Поскольку мы располагаем только месячными величинами температуры воздуха и осадков, пришлось ограничиться шестью центральными в циркуляционных сезонах месяцами (март — предвесенье, май — весна, июль — лето, сентябрь — осень, ноябрь — предзимье, январь — зима).

Особенности изменения температуры воздуха и атмосферных осадков от одной циркуляционной эпохи к другой в различных регионах Арктики заслуживают специального исследования. Здесь на основе проведенных расчетов проиллюстрируем общие закономерности этих изменений в экстремальные десятилетия.

В Арктике, как и во всем полушарии, отмечается два периода потепления (1920–40-е годы и 1980-е — начало XXI в.) и период похолодания — 1960-е годы. В первый период потепление было

Температура воздуха и количество атмосферных осадков в разных секторах Арктики в экстремальные десятилетия циркуляционных эпох

Десятилетия	Температура воздуха, °С						Атмосферные осадки, мм					
	I	III	V	VII	IX	XI	I	III	V	VII	IX	XI
<b>Европейский сектор Арктики</b>												
Мурманск (69,0° с.ш., 33,1° в.д.)												
1906–1915							нет данных					
1930–1939	-7,7	-7,0	3,8	14,0	6,4	-1,9	25	30	37	50	49	40
1960–1969	-11,2	-7,7	3,6	12,5	6,7	-4,0	34	21	31	49	48	34
1988–1997	-8,9	-4,2	4,0	12,2	6,8	-5,4	28	20	32	62	48	46
Малые Кармакулы (72,4° с.ш., 52,7° в.д.)												
1906–1915	-17,7	-16,0	-4,4	6,0	1,8	-9,9	нет данных					
1930–1939	-10,7	-15,2	-3,9	6,6	3,2	-5,0	15	9	16	26	62	24
1960–1969	-15,9	-15,6	-5,3	7,7	2,8	-9,6	44	26	23	46	41	27
1988–1997	-15,1	-11,1	-3,4	6,7	3,8	-7,4	45	22	20	46	47	27
<b>Западно-Сибирский сектор Арктики</b>												
о. Уединения (77,5° с.ш., 82,2° в.д.)												
1906–1915							нет данных					
1930–1939	нет данных		7	4	1	34	19	4				
1960–1969	-28,4	-26,7	-11,2	0,8	-2,3	-19,2	11	12	14	36	23	16
1988–1997	-26,1	-23,8	-8,6	0,4	-2,6	-21,6	9	10	11	30	18	10
о. Диксон (73,5° с.ш., 80,3° в.д.)												
1906–1915							нет данных					
1930–1939	-23,5	-24,2	-7,3	4,5	1,8	-15,9	8	6	8	24	46	11
1960–1969	-28,6	-24,1	-10,2	4,7	0,7	-19,3	43	28	21	41	50	29
1988–1997	-25,1	-20,4	-7,0	4,2	1,2	-19,0	36	29	19	31	54	29
<b>Восточно-Сибирский сектор Арктики</b>												
Волочанка (71,0° с.ш., 94,5° в.д.)												
1906–1915	-38,0	-30,9	-5,5	12,8	2,2	-25,5	6	11	28	49	33	16
1930–1939	-30,3	-27,9	-6,5	12,2	1,9	-25,1	7	6	10	44	32	10
1960–1969	-34,5	-27,4	-8,3	12,5	1,6	-26,8	15	17	21	42	34	18
1988–1997	-31,8	-24,0	-5,7	11,9	1,5	-25,9	14	24	30	45	32	15
о. Челюскин (77,7° с.ш., 104,3° в.д.)												
1906–1915							нет данных					
1930–1939	-26,0	-28,6	-9,9	1,4	-2,1	-20,2	7	2	4	32	13	6
1960–1969	-30,5	-29,9	-12,3	1,5	-2,9	-22,2	21	23	21	25	32	20
1988–1997	-29,6	-26,0	-9,8	1,5	-3,2	-22,7	11	15	16	31	25	12
<b>Дальневосточный сектор Арктики</b>												
о. Котельный (76,0° с.ш., 137,9° в.д.)												
1906–1915							нет данных					
1930–1939	-29,1	-28,8	-9,0	2,9	-1,4	-21,2	4	3	10	26	20	4
1960–1969	-31,4	-29,6	-10,3	2,5	-2,7	-22,3	8	12	17	30	19	13
1988–1997	-29,8	-27,4	-8,1	3,2	-1,2	-23,2	9	7	8	24	22	8
о. Шалаурова (73,2° с.ш., 143,9° в.д.)												
1906–1915							нет данных					
1930–1939	-30,8	-28,8	-9,4	2,8	0,4	-20,5	4	4	7	19	14	3
1960–1969	-32,2	-29,3	-9,2	2,4	-1,6	-22,9	13	11	19	32	19	20
1988–1997	-31,2	-27,6	-7,7	2,9	0,2	-23,1	8	6	12	30	21	7
Кокурдах (70,6° с.ш., 147,9° в.д.)												
1906–1915							нет данных					
1930–1939												
1960–1969	-35,3	-29,2	-6,0	9,6	-0,5	-26,3	16	12	15	34	30	28
1988–1997	-34,6	-27,2	-4,9	10,2	1,4	-26,0	9	7	11	40	27	15
Четырехстолбовая (70,6° с.ш., 162,5° в.д.)												
1906–1915							нет данных					
1930–1939	-30,2	-26,9	-7,8	2,4	-0,4	-19,0	9	12	5	32	14	16
1960–1969	-28,9	-26,3	-6,8	2,0	-1,3	-20,7	15	7	8	25	16	17
1988–1997	-29,1	-25,0	-6,3	3,1	0,2	-20,1	3	2	4	12	12	5
<b>Тихоокеанский сектор Арктики</b>												
о. Врангеля (71,0° с.ш., 178,5° з.д.)												
1906–1915							нет данных					
1930–1939	-24,6	-22,7	-8,4	2,4	-1,6	-15,5	13	10	24	45	47	24
1960–1969	-22,2	-25,2	-6,6	2,3	-1,0	-14,6	24	27	27	44	46	27
1988–1997	-22,4	-22,8	-5,3	2,5	-0,3	-12,9	19	27	27	49	30	26

больше, чем во второй. В 1930–1939 гг. большее потепление отмечено в холодное полугодие, а в 1988–1997 гг. — в предвесенье и теплое полугодие. Суммы осадков во все сезоны по данным большинства станций выше в период похолодания.

В *Европейском секторе Арктики* самые высокие температуры за все время наблюдений зафиксированы в 1988–1997 гг. в предвесенье, весной и осенью; в 1930–1939 гг. — зимой, летом и в предзимье. Наибольшее количество осадков летом приходится на 1988–1997 гг., в остальные сезоны — на 1960–1969 гг.

В *Западно-Сибирском секторе* на о. Диксон зима, весна, осень и предзимье наиболее теплые в 1930–1939 гг., предвесенье — в 1988–1997 гг., а лето — в 1960–1969 гг. На о. Уединения, для которого отсутствуют данные за первую половину века, зима, предвесенье и весна оказываются самыми теплыми в 1988–1997 гг., а лето, осень и предзимье — в 1960–1969 гг. Наибольшее количество осадков отмечается в 1960–1969 гг.

В *Восточно-Сибирском секторе* в 1988–1997 гг. самыми теплыми за все время наблюдений были только предвесенье в районе станции Волочанка и предвесенье и весна на о. Челюскин. Зима и предзимье по данным обеих станций и осень на о. Челюскин оказались наиболее теплыми в 1930–1939 гг. Самое большое количество осадков обе станции зафиксировали зимой, осенью и в предзимье, а на о. Челюскин еще и в предвесенье и весной в 1960–1969 гг. В 1930–1939 гг. осадков было больше только на о. Челюскин летом, а в 1988–1997 гг. — в предвесенье и весной в районе станции Волочанка.

В *Дальневосточном секторе* зима и предзимье были теплее в 1930–1939 гг., а лето — в 1988–1997 гг. Положительный тренд температуры по данным станции Четырехстолбовой в предвесенье и весной отмечается в 1930–1939 гг. и сохраняется до 1988–1997 гг. Наибольшее количество осадков приходится в основном на 1960–1969 гг. В 1988–1997 гг. их максимум наблюдается зимой и осенью на о. Котельный, осенью и в предзимье на о. Шалаурова и летом в районе станции Кокурдах. В предвесенье и летом на станции Четырехстолбовой максимум осадков отмечен в 1930–1939 гг.

В *Тихоокеанском секторе* (о. Врангеля) зафиксирован необычный ход температуры воздуха: от 1930–1939 к 1960–1969 гг. отмечено потепление зимой, весной, осенью и в предзимье и сильное похолодание (на  $2,5^{\circ}\text{C}$ ) в предвесенье, которое стало холоднее зимы на  $3,0^{\circ}\text{C}$ . К 1988–1997 гг. температура возросла во все сезоны, кроме зимы. Сильное потепление имело место в предвесенье (на  $2,4^{\circ}\text{C}$ ), но оно все равно осталось холоднее зимы. Вероятно, сказывается смещение полосы повышенного давления в этот район в предвесенье. Наиболее теплым за все время наблюдений в 1930–1939 гг. оказалось предвесенье, наиболее холодными — зима, весна, осень и предзимье. На станции о. Врангеля в период потепления Арктики отмечены самые низкие средние месячные температуры воздуха. Наиболее теплой в

1960–1969 гг. была зима, наиболее холодным — предвесенье. Самыми теплыми в 1988–1997 гг. оказались весна, лето, осень и предзимье. Количество осадков с 1930–1939 к 1960–1969 гг. увеличилось в предвесенье, весной и в предзимье. Наибольшее количество осадков за весь период наблюдений зимой и осенью приходится на 1960–1969 гг. В предвесенье, весну и в предзимье количество осадков в 1960–1969 и 1988–1997 гг. почти одинаково. Летом самое большое количество осадков выпало в 1988–1997 гг.

#### **Изменение ледяного и снежного покрова в Арктике**

По данным В.Ф. Захарова [7], в XX столетии выделяются две стадии разрастания (1900–1918 и 1938–1968 гг.) и сокращения (1918–1938 и 1968–1999 гг.) ледяного покрова, выраженные на фоне векового сокращения площади арктических льдов. По оценке Т. Vinje [23], протяженность морского льда в северных морях в апреле сократилась с 1964 по 1998 гг. на 33%. Экстремальное сокращение отмечено в конце летнего периода 1990 и 1995 гг., а в 2002 г. зафиксирована наименьшая за период наблюдений протяженность льдов в конце лета. По данным Е.И. Александрова и др. [1], на Северном полюсе к 1990 г., по сравнению с 1950 г., число дней со снежным покровом на льдах сократилось приблизительно на 15. В ходе средней годовой температуры воздуха в 1986–1990 гг. прослеживается тенденция к повышению. Толщина снежного покрова на льду с 1950 по 1990 г. уменьшилась от 50 до 30 см.

Региональные особенности вековых изменений толщины снежного покрова в России изучены А.Н. Кренке и Л.М. Китаевым по данным 50 метеостанций [12]. Согласно их оценкам, толщина снежного покрова увеличилась на равнинах Восточной Европы и Западной Сибири и уменьшилась в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Исследования современного состояния криолитозоны (по данным геофизиологических станций России — Марре-Сале и Тюрин-То на Ямале, Приполярно-тундровой зональной станции вблизи Воркуты, Чабыды в окрестностях Якутска и др.) свидетельствуют о ее деградации [13, 18]. По мнению авторов, она вызвана повышением температуры, а в ряде районов и увеличением снегоотложения.

Сокращение площади и толщины ледяного покрова в Арктике, уменьшение числа дней со снежным покровом и толщины снежного покрова на льдах в районе Северного полюса, а также уменьшение толщины снежного покрова на равнинах Восточной Сибири и Дальнего Востока хорошо согласуется с установленными выше усилением циклонической циркуляции на полюсе, смещением арктического антициклона к берегам Чукотки и изменениями режима температуры воздуха и атмосферных осадков. Таким образом, можно сделать вывод, что эти изменения взаимосвязаны.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, гранты № 05-05-64354 и 05-05-64544.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Александров Е.И., Брызгин Н.Н., Дементьев А.А. Многолетние колебания характеристик снежного покрова в Арктическом бассейне Северного Ледовитого океана (по данным дрейфующих станций). — МГИ, вып. 91, 2001, с. 51-54.
2. Груза Г.В., Бардин М.Ю., Ранькова Э.Я. и др. Об изменениях температуры воздуха и атмосферных осадков на территории России в XX веке. — Состояние и комплексный мониторинг природной среды и климата. Пределы изменений. М., 2001, с. 18-39.
3. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Изменение климатических условий Европейской части России во второй половине XX века. — Влияние изменения климата на экосистемы, вып. 4. М., 2001, с. 1-16.
4. Дзердзеевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX столетии. — Материалы метеорол. исслед. М., 1968, 240 с.
5. Дзердзеевский Б.Л., Курганская В.М., Витвицкая З.М. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов. Тр. НИУ ГУГМС. Л., ГИМИЗ, 1946, 80 с.
6. Егоров А.Г. Солнечный цикл и многолетняя барическая волна в приземной атмосфере Арктики. — Докл. РАН, т. 393, № 3, 2003, с. 402-406.
7. Захаров В.Ф. Морские льды в климатической системе. СПб., ГИМИЗ, 1996. 214 с.
8. Израэль Ю.А., Павлов А.В., Анохин Ю.А. Эволюция криолитозоны при современных изменениях глобального климата. — Метеорология и гидрология, 2002, № 1, с. 22-34.
9. Календарь последовательной смены ЭЦМ за 87-летний период (с 1899 по 1985 гг.). — Материалы метеорол. исслед. № 13, М., 1987, с. 30-116.
10. Кононова Н.К. Исследование многолетних колебаний циркуляции атмосферы северного полушария и их применение в гляциологии. — МГИ, вып. 95, 2003, с. 45-65.
11. Кононова Н.К. О смещениях направлений арктических вторжений в Восточной Сибири. — Изв. ВГО, т. 94, 1962, с. 255-257.
12. Кренке А.Н., Китаев Л.М. и др. Изменения снежного покрова и их климатическая роль. — Криосфера Земли, т. 1, № 1, 1997, с. 39-46.
13. Павлов А.В. Мерзлотно-климатические изменения на севере России: наблюдения, прогноз. — Изв. АН, сер. геогр., 2003, № 6, с. 39-50.
14. Ранькова Э.Я., Груза Г.В. Индикаторы изменения климата России. — Метеорология и гидрология, 1998, № 1, с. 5-18.
15. Савина С.С., Хмелевская Л.В. Динамика атмосферных процессов северного полушария в XX столетии — Материалы метеорол. исслед., № 9. М., 1984, 146 с.
16. Сезонные характеристики циркуляции атмосферы северного полушария. Материалы метеорол. исслед. М., 1977, 193 с.
17. Титкова Т.Б. Изменение климата Европейского Севера России в XX в. — Изв. РАН, сер. геогр., 2003, № 6, с. 30-38.
18. Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX столетии (статистические данные для полушария и шести его секторов). Материалы метеорол. исслед., М., 1970, 175 с.
19. Чаплыгина А.С. Статистический анализ чередования типов циркуляции атмосферы. — Изв. АН СССР, сер. геофиз., 1961, № 12, с. 1832-1843.
20. Climate change — The Scientific Basis. Cambridge UK. IPCC, Cambridge University Press, 2001, 881 p.
21. Kononova N.K. Impact of last climate change on hazardous natural processes dynamics in Russian Arctic. — Arctic climate impact assessment. ACIA Workshop on Russian climate research and monitoring in the Arctic, 27–30 May, 2001. Abstracts. St.-Petersburg, 2001, p. 35.
22. Kononova N. The Northern Hemisphere atmospheric circulation: how its changed manifest in Arctic. — ACSYS Final Conference CD: Arctic Climate System Study (ACSYS). 2004. Progress in Understanding the Arctic Climate System: The ACSYS Decade and Beyond. Proceeding of the ACSYS Final Science Conference. St. Petersburg, Russia, 11–14 Nov. 2003. WCRP-118 (CD); WMO/TD № 1232, September, 2004. Ext\_s4\_kononova hdf
23. Vinje T. Anomalies and trends of sea ice extent and atmospheric circulation in the Nordic Seas during the period 1964–1998. — Journ. of Climate, v. 14, 2001, p. 255-267.

## SUMMARY

Changes of the atmospheric circulation in the Northern Hemisphere in 1899–2004 and meteorological elements for many years by data of 11 meteorological stations situated northward of 69° N in five sectors of the Arctic (European, West-Siberian, East-Siberian, Far-Eastern, and Pacific) are considered. Features of changes of air temperature and the atmospheric circulation in the extreme decades of circulation epochs and by circulation seasons in the B.L. Dzerdzevsky typization are analyzed. Decrease of the Arctic ice coverage and the number of days with snow cover on ice is in agreement with the change of the atmospheric circulation in the Arctic.