

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В АРКТИКЕ И СЕВЕРНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ

*д-р геогр. наук Г.В.АЛЕКСЕЕВ, канд. геогр. наук В.Ф.РАДИОНОВ,
канд. геогр. наук Е.И.АЛЕКСАНДРОВ, науч. сотр. Н.Е.ИВАНОВ,
науч. сотр. Н.Е.ХАРЛАНЕНКОВА*

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, alexgv@aari.ru

В статье анализируются изменения некоторых репрезентативных климатических характеристик состояния атмосферы, морских льдов и океана в Арктике и северной полярной области за период инструментальных наблюдений по 2009 год с использованием данных, собранных в период МПГ 2007/08. Также проводится сравнение с изменениями в других областях и с оценками климатических изменений по расчетам на глобальных моделях климата.

Ключевые слова: изменения климата, северная полярная область, Арктика, Арктический бассейн, МПГ 2007/08.

Арктика составляет важную часть климатической системы Земли, связанную с другими ее частями переносами тепла, влаги, соли и воды в системах циркулирующей атмосферы и океана. Здесь формируются усиленные этими взаимосвязями изменения климата, слежение за которыми является необходимой частью мониторинга глобальных климатических изменений. Изменения климата Арктики составляют одно из актуальнейших направлений современных климатических исследований. В них видное место занимает судьба морских льдов в Северном Ледовитом океане, поскольку криосфера, частью которой они являются, особенно остро реагирует на изменения климата и может как ускорить, так и замедлить их развитие. В то же время Арктика является одним из районов, для которых пока не удастся получить хорошего согласия между глобальными моделями и наблюдениями в воспроизведении происходящих изменений климата. Необходимы дальнейшие исследования на основе данных мониторинга за изменениями состояния основных частей арктической климатической системы и результатов натурных исследований арктических процессов. Большой вклад в этом направлении внесли исследования по программе Международного полярного года 2007/08.

В статье анализируются изменения некоторых репрезентативных климатических характеристик состояния атмосферы, морских льдов и океана в Арктике и северной полярной области за период инструментальных наблюдений по 2009 г. с использованием данных, собранных в период МПГ 2007/08. Также проводится сравнение с изменениями в других областях и с оценками климатических изменений по расчетам на глобальных моделях климата

Температура воздуха

Изменения температуры воздуха за период 1936–2009 гг. рассматриваются на основе данных стандартных метеорологических наблюдений на территории северной полярной области (СПО) [3, 20, 22]. Основным методом получения про-

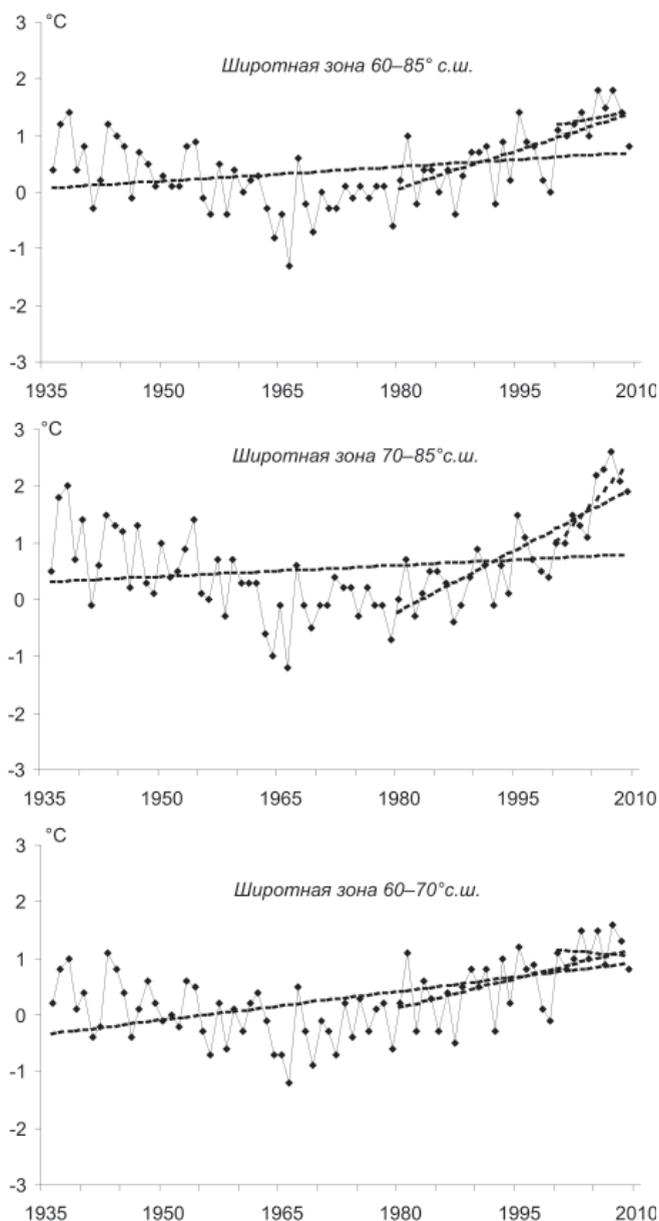


Рис. 1. Временные ряды пространственно осредненных аномалий среднегодовой температуры воздуха

странственно осредненных аномалий температуры воздуха является метод оптимальной интерполяции и оптимального осреднения [8, 9].

Оценки аномалий средних за сезон и год температур воздуха были получены относительно стандартного периода 1961–1990 гг. В качестве сезонов рассматривались календарные сезоны, за год принимался период с декабря предыдущего года по ноябрь последующего.

На рис. 1 показаны временные ряды пространственно осредненных аномалий среднегодовой температуры воздуха широтных зон: 60–85, 70–85 и 60–70° с.ш. Как видно из рис. 1, с середины 1960-х гг. температура в СПО повышалась. При этом повышение среднегодовой температуры вплоть до конца прошлого столетия было обусловлено, главным образом, изменениями температуры зимнего и весеннего сезонов. В конце прошлого и начале нынешнего столетия существенный вклад в повышение среднегодовой температуры воздуха был внесен изменениями температуры летнего и осеннего сезонов [1].

В середине 2000-х гг. значения аномалий среднегодовой температуры воздуха СПО достигли наибольших величин из всего временного ряда. Наиболее теплыми годами стали 2005 г. и 2007 г. с аномалией температуры 1,8 °С [3, 6]. Надо отметить, что в 2005 и 2007 гг. положительные аномалии среднегодовой температуры воздуха наблюдались почти на всех станциях земного шара. В Северном полушарии эти годы оказались также наиболее теплыми с аномалиями температуры соответственно 0,72 и 0,71 °С [21].

Величина положительного линейного тренда среднегодовой температуры воздуха СПО за период 1936–2009 гг. статистически значима в целом для СПО и для широтной зоны 60–70° с.ш. Повышение температуры воздуха за 74 года соответственно составило 0,6 и 0,8 °С.

За последние 30 лет (1980–2009 гг.) статистически значимые положительные тренды температуры наблюдались практически везде в СПО во все сезоны и в целом за год (табл. 1). Повышение среднегодовой температуры воздуха за 30 лет на территории северной полярной области составило около 1,3 °С. При этом скорость потепления в широтной зоне к северу от 70° с.ш. (0,72 °С/10 лет) была больше, чем в широтной зоне 60–70° с.ш. (0,35 °С/10 лет). Повышение температуры за 30 лет в этих зонах составило 2,2 и 1,1 °С соответственно.

В последнем десятилетии (2000–2009 гг.) отмечены наиболее высокие температуры воздуха как на территории Северного полушария, так и северной полярной области. Вместе с тем тенденции изменений аномалий температуры к северу и югу от 70° с.ш. в текущем десятилетии стали противоположными: к

Таблица 1

Коэффициенты линейного тренда средней за сезон и среднегодовой температуры воздуха отдельных широтных зон

Широтная зона	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
1936–2009 гг.					
60–70° с.ш.	0,15	0,15	0,10	0,05	0,11
70–85° с.ш.	0,00	0,13	0,08	0,02	0,06
60–85° с.ш.	0,08	0,14	0,09	0,04	0,08
1980–2009 гг.					
60–70° с.ш.	0,21	0,36	0,34	0,54	0,35
70–85° с.ш.	0,74	0,68	0,45	0,99	0,72
60–85° с.ш.	0,37	0,46	0,37	0,69	0,44
2000–2009 гг.					
60–70° с.ш.	0,61	–0,79	–0,12	0,58	–0,12
70–85° с.ш.	2,70	1,18	0,59	1,21	1,38
60–85° с.ш.	0,99	–0,15	0,01	0,75	0,20

Примечание: значение линейного тренда в °С/10 лет; жирным шрифтом выделены статистически значимые тренды.

Таблица 2

Аномалии (T) и нормированные аномалии (T/σ) среднемесячной температуры воздуха на дрейфующих станциях СП-1, СП-32 – СП-37 и судне «Фрам»

Год	Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
СП-1													
1937	ΔT						0,2	0,4	0,5	-2,8	-1,4	3,5	5,8
	$\Delta T/\sigma$						0,3	2,0	0,6	-1,4	-0,5	1,3	1,7
1938	ΔT	6,4											
	$\Delta T/\sigma$	2,0											
СП-32													
2003	ΔT						1,1	0,2	0,9	3,3	1,2	5,2	-2,5
	$\Delta T/\sigma$						1,4	1,0	1,1	1,6	0,4	1,9	-0,7
2004	ΔT	1,0	2,2										
	$\Delta T/\sigma$	0,3	0,7										
СП-33													
2004	ΔT									-0,2	2,3	0,2	4,1
	$\Delta T/\sigma$									-0,1	0,8	0,1	1,2
2005	ΔT	5,9	6,1	-1,3	1,4	5,5	1,3	0,3	-0,2				
	$\Delta T/\sigma$	1,8	2,0	-0,4	0,6	3,4	1,6	1,5	-0,3				
СП-34													
2005	ΔT									2,3	3,4	2,5	7,8
	$\Delta T/\sigma$									1,1	1,2	0,9	2,3
2006	ΔT	16,1	3,6										
	$\Delta T/\sigma$	5,0	1,2										
СП-35													
2007	ΔT										9,5	7,1	4,2
	$\Delta T/\sigma$										3,4	2,5	1,2
2008	ΔT	2,1	5,2	1,4	6,1	1,1	1,0						
	$\Delta T/\sigma$	0,7	1,7	0,5	2,5	0,7	1,3						
СП-36													
2008	ΔT									5,2	4,8	7,5	3,5
	$\Delta T/\sigma$									2,6	1,7	2,7	1,0
2009	ΔT	5,4	2,9	-2,0	-0,9	3,7	0,3	0,0	0,0				
	$\Delta T/\sigma$	1,7	1,0	-0,7	-0,4	2,3	0,4	0,0	0,0				
СП-37													
2009	ΔT									2,7	5,5	5,2	3,3
	$\Delta T/\sigma$									1,4	2,0	1,9	1,0
2010	ΔT	0,0											
	$\Delta T/\sigma$	0,0											
«Фрам»													
1895	ΔT	-0,7	-2,2	-1,7	-2,6	0,4	0,8	0,2	-0,5	-0,3	-1,9	-3,4	-2,1
	$\Delta T/\sigma$	-0,2	-0,7	-0,6	-1,1	0,3	1,0	1,0	-0,6	-0,2	-0,7	-1,2	-0,6

Примечание: выделены нормированные аномалии, превышающие удвоенное стандартное отклонение

северу от 70° с.ш. температурный тренд положителен, а к югу от 70° с.ш. весной, летом и в целом за год появилась отрицательная тенденция изменения температуры (табл. 1).

Новые данные метеорологических наблюдений на дрейфующих станциях СП-32 – СП-37 позволяют уточнить современные параметры метеорологического режима в околополюсном районе и сравнить их с наблюдавшимися более 70 лет назад на СП-1 и более 100 лет назад на находившемся в дрейфе судне «Фрам». Величины аномалий среднемесячной температуры воздуха относительно нормы за 1954–1988 гг. [2, 11] и их нормированные на стандартное отклонение значения на дрейфовавших в 2003–2009 гг. станциях «Северный полюс» приведены в табл. 2. Аномалии в большинстве случаев положительны. Наиболее крупные аномалии (более 3) были отмечены в мае 2005 г. на СП-33, в январе 2006 г. на СП-34 и октябре 2007 г. на СП-35. Надо отметить, что для северной полярной области 2005 г. стал наиболее теплым годом в широтной зоне 60–85° с.ш. за весь период инструментальных наблюдений. Здесь же в табл. 2 приведены аномалии среднемесячных температур воздуха в период дрейфа судна «Фрам» в 1895 г. относительно месячных норм за тот же самый период 1954–1988 гг. в пределах той же околополюсной области севернее 85° с.ш. Видно, что, за исключением мая-июля, они отрицательны. Нормированные значения как отрицательных, так и положительных аномалий невелики – около или менее 1. Сопоставление результатов наблюдений на «Фраме» с результатами на дрейфующих станциях в 1950–1990-х гг. и в 2000-х гг. [10] позволяет сделать вывод о большей устойчивости термического режима в околополюсном районе по сравнению с остальной частью северной полярной области. Увеличение температуры здесь происходит, однако эти изменения протекают медленнее, чем ожидалось по оценкам различных моделей климата [20]. Вместе с тем следует отметить появление новых, существенно увеличенных относительно нормы, значений среднемесячных температур воздуха в околополюсном районе в осеннем сезоне.

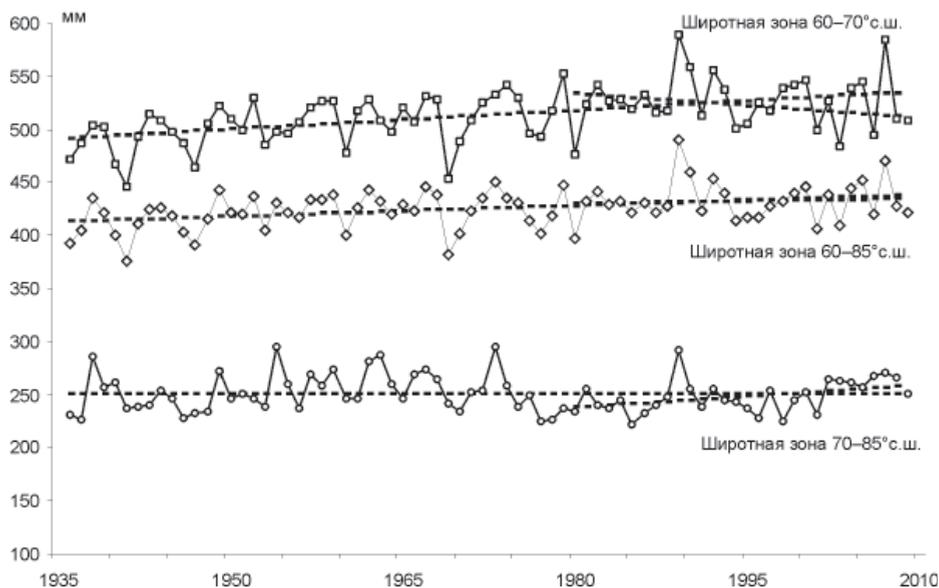


Рис. 2. Многолетняя изменчивость годовых сумм осадков в различных широтных зонах, мм

Атмосферные осадки

Оценка многолетних изменений количества осадков в СПО проводилась по следующей методике. Месячные суммы измеренных осадков скорректированы по методике, описанной в [17]. Были рассчитаны месячные, сезонные и годовые нормы осадков за период 1961–1990 гг. для каждой из станций и рассматриваемых широтных зон СПО. На всех станциях для каждого года наблюдений рассчитывались аномалии сумм осадков относительно имеющихся норм, затем рассчитывались средние аномалии в пределах широтной зоны (арифметическое среднее по данным всех станций в рассматриваемой широтной зоне). За величину месячной (сезонной, годовой) суммы осадков в конкретный год в рассматриваемой широтной зоне принималось значение, равное алгебраической сумме нормы месячного (сезонного, годового) количества осадков и рассчитанной для этого года аномалии соответствующей суммы осадков.

Таблица 3

Параметры линейного тренда сезонных и годовых сумм осадков за период 1936–2009 гг.

Широтная зона	Холодный период		Теплый период		Год	
	B_x	% от нормы	B_x	% от нормы	B_x	% от нормы
1936–2009 гг.						
60–70° с.ш.	6,16	15,2	–0,26	–0,9	5,99	8,5
70–85° с.ш.	0,80	4,3	–0,94	–6,2	–0,14	–0,4
60–85° с.ш.	4,03	12,2	–0,71	–2,9	3,32	5,7
1980–2009 гг.						
60–70° с.ш.	–0,81	–2,4	0,72	2,2	–0,09	–0,3
70–85° с.ш.	7,86	23,6	–0,82	–2,5	7,04	21,1
60–85° с.ш.	1,80	5,4	–0,26	–0,8	1,54	4,6

Примечание: первый столбец B_x – значение линейного тренда в мм/10 лет; второй столбец – изменение сумм осадков в % от среднесезонного значения за 74 года и 30 лет; жирным шрифтом выделены статистически значимые тренды

На рис. 2 показаны временные ряды годовых сумм осадков для широтных зон к северу и югу от 70° с.ш. и в целом для СПО. Осадки в СПО с 1936 г. увеличились примерно на 6 % от многолетней нормы, но это результат их роста примерно на 8 % в широтной зоне к югу от 70 с.ш. (табл. 3). Весь прирост годовых сумм осадков вызван увеличением осадков холодного периода (с октября по май). Осадки теплого периода (с июня по сентябрь) в целом за 74 года уменьшились. Это уменьшение сильнее выражено в широтной зоне к северу от 70° с.ш.

Особый интерес представляют изменения сумм осадков в последние десятилетия, в которые происходило увеличение температуры воздуха. Межгодовые изменения количества атмосферных осадков отличаются от межгодовых изменений температуры воздуха большей степенью изменчивости. За последние 30 лет (1980–2009 гг.) к северу от 70° с.ш. твердые осадки увеличились примерно на 24 % (табл. 3). Это увеличение было более интенсивным в конце 30-летнего периода, когда наблюдался наибольший рост температуры воздуха (см. рис. 1 и 2). Количество жидких осадков в эти годы уменьшалось.

К югу от 70° с.ш. статистически значимого тренда не обнаруживается как в годовых суммах осадков, так и в суммах осадков холодного и теплого сезонов. В холодный период и в целом за год появилась тенденция к уменьшению сумм осадков.

Климатические изменения в морской Арктике

Потепление в Арктике, начавшееся в конце 1980-х гг., усилилось с середины 1990-х гг., достигнув максимального развития к 2007 г. В морской Арктике в этот период происходило резкое сокращение площади, занимаемой морскими льдами в конце летнего периода. В Арктическом бассейне распространялась обширная положительная аномалия температуры в подповерхностном слое воды атлантического происхождения (АВ) и изменилось распределение пресной воды в верхнем слое. На этот климатический сдвиг пришлось возрождение арктических экспедиционных исследований, увенчавшееся проведением Международного полярного года 2007/08. Благодаря полученным за последние два десятилетия данным о состоянии водных масс, морских льдов и атмосферы оказалось возможным проследить развитие климатического феномена конца 1990-х – начала 2000-х гг. в морской Арктике, его связь с изменениями глобального климата и сравнить с потеплением в 1930–1940-е гг.

Изменения температуры воздуха над областью морской Арктики, включающей покрытую льдами в зимний период акваторию Северного Ледовитого океана, представляют особый интерес. Изменения температуры в этой области в первую очередь влияют на зимнее разрастание и летнее таяние ледяного покрова. С этой точки зрения оценим изменения положительных летних температур как индикатора летнего теплового воздействия на лед и отрицательных температур за холодный период года, влияющих на максимальное увеличение объема льда зимой. Для этого выбраны 38 станций, расположенных на островах и побережье Северного Ледовитого океана, откуда начинается летнее отступление морских арктических льдов. Средние зимние и летние приповерхностные температуры воздуха (ПТВ) на этих станциях начиная с 1951 г. показаны на рис. 3, из которого видно быстрое убывание отрицательных температур после 1991 г. и быстрый рост положительных температур после 1996 года с абсолютным рекордом в 2007 г. и понижением в 2008 г. При этом зимние температуры до 1991 г. и летние до 1996 г. имели слабые отрицательные тренды, которые сменились на значимые положительные тренды.

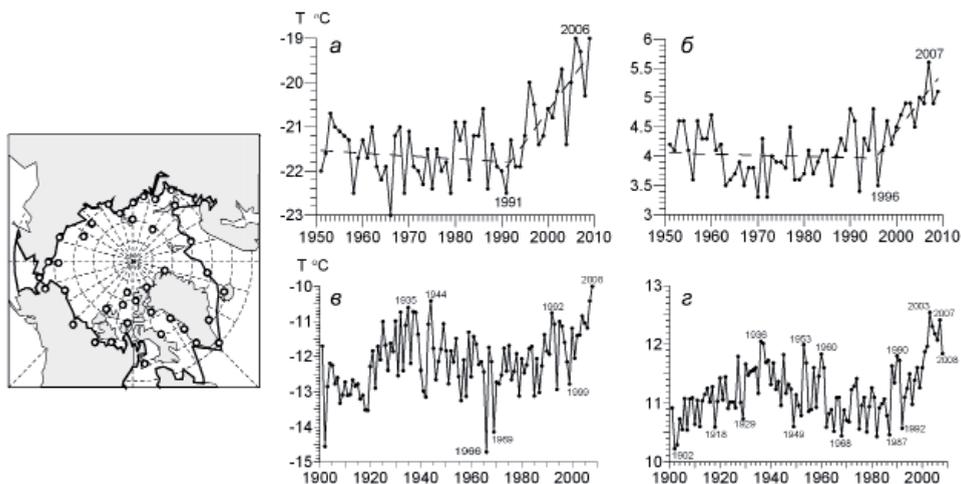


Рис. 3. Средние зимние (XI–III) – *а* и летние (VI–VIII) – *б* ПТВ на 38 станциях в морской Арктике в 1951–2008 гг. (положение станций в морской Арктике показано на карте; пунктир – линейный тренд); *в* – средняя за ноябрь–март и *г* – за июнь–август температура воздуха в области к северу от 60° с.ш. по данным 30 метеостанций

Чтобы сравнить развитие потепления в 1930–1940-е и в 1990–2000-е гг. приходится рассматривать изменения температуры воздуха и за пределами морской Арктики, поскольку число станций в этой области до 1950 г. было незначительным. Как и в предыдущем разделе, рассмотрим область к северу от 60° с.ш., в которой начиная с 1900 г. действуют 30 метеостанций. Средние за зиму и лето температуры воздуха в этой области за 1907–2007 гг. представлены на рисунке 3 *в, г*. Видно, что максимальная зимняя температура была выше во время первого потепления, а летняя – во время потепления 1990–2000 гг. Также заметно отсутствие значимого положительного тренда температуры до середины 1990-х гг. Скорость развития потепления в оба периода можно оценить коэффициентами линейного тренда за 19 лет, соответственно за 1920–1938 гг. и за 1990–2008 гг. За первый период коэффициенты сезонных трендов в пределах 0,49–0,60 °С/год, а во второй 0,34–0,81 °С/год, а для средних за год тренды, соответственно, 0,054 и 0,069 °С/год. Таким образом, второе потепление развивается быстрее, чем первое, за исключением весны.

Сравнение средней температуры за самое теплое десятилетие в каждом сезоне первого потепления и средней температуры последнего потепления (рис. 4)

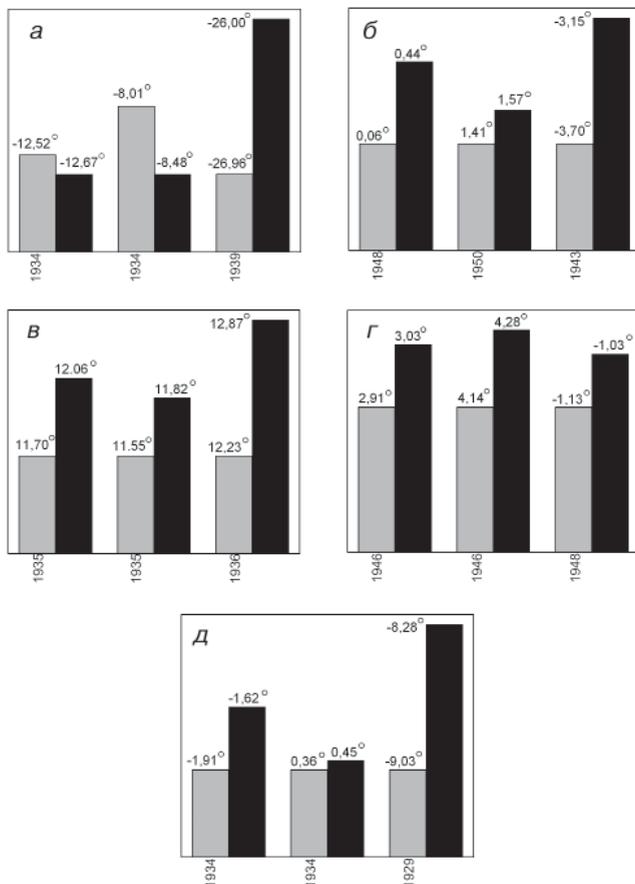


Рис. 4. Средняя ПТВ в самое теплое десятилетие в первом потеплении (серый столбик) и в 1998–2007 гг. (черный столбик) в разные сезоны (*а* – зима, *б* – весна, *в* – лето, *г* – осень, *д* – год) во всей области, в приатлантической и притихоокеанской ее половинах (соответственно, первая, вторая и третья пара столбиков в каждом сезоне)

показывает, что все сезоны, за исключением зимнего, теплее в последнее десятилетие, так же как и в среднем за год. Можно также отметить большую разность между десятилетиями в тихоокеанской половине области, что подтверждает усиление здесь последнего потепления, и сравнительно небольшую разность между обоими потеплениями осенью (сентябрь—октябрь) во всех районах.

Во взаимодействии между Арктикой и остальной частью глобальной климатической системы важная роль принадлежит морскому ледяному покрову, который в то же время является индикатором изменений арктического климата. Наблюдаемое с начала 1980-х гг. постепенное сокращение летней площади морского льда (ПМЛ) в Арктике, резко ускорилось в конце 1990-х гг. и достигло абсолютного минимума в сентябре 2007 г. (4,30 млн км²). В сентябре 2008 г. ПМЛ возрос до 4,70 млн км², а в сентябре 2009 г. до 5,20 млн км² (рис. 5).

В сибирских арктических морях (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря) ПМЛ в сентябре сокращалась еще более быстрыми темпами, но в 2007–2009 гг. дальнейшего сокращения не происходило (рис. 5 б). В целом за десятилетие с 1997 по 2007 г. площадь морских льдов сократилась на 26 % во всей Арктике и на 79 % в сибирских морях.

Из результатов расчетов площади льдов по данным ансамбля глобальных моделей СМIP3 видно значительное отставание сокращения площади льдов в моделях по сравнению с наблюдаемым сокращением (рис. 5 в).

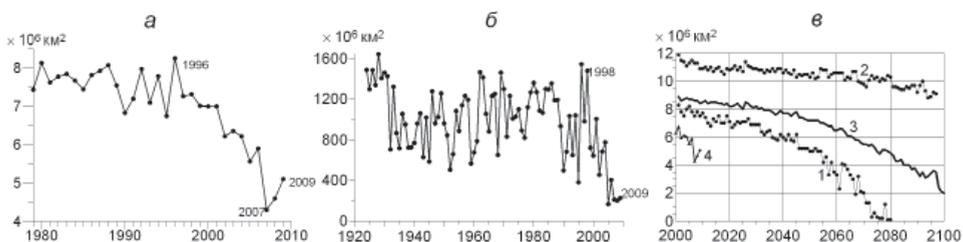


Рис. 5. Площадь льдов: а – сентябрьская в Арктике (1979–2009 гг., данные NSIDC), б – в сибирских арктических морях (1924–2009 гг., данные ААНИИ) и в – в Арктике по ансамблю модельных расчетов СМIP3 (1, 2 – крайние реализации из ансамбля, 3 – среднее по 16 реализациям и 4 – по данным NSIDC за 2000–2009 гг.)

Очевидно, что причина столь резкого сокращения количества арктических льдов в конце летнего периода связана с потеплением климата. Корреляция между аномалиями ПТВ и ПМЛ в разные месяцы года указывает на связь между ними в июне [4,18]. Эта связь остается 95 %-значимой и после исключения тренда из обоих рядов. Аномалии ПМЛ в июне влияют также на аномалии ПМЛ в зимние месяцы последующего года.

Второй максимум корреляции между ПТВ в северной полярной области и ПМЛ обнаруживается в сентябре, когда ПМЛ сокращается до климатического минимума. Связь между изменениями ПМЛ в сентябре и летней (средней за июнь—август) температурой воздуха усиливается по мере развития потепления и характеризуется наибольшей корреляцией $-0,85$ для ряда ПМЛ за 1979–2007 гг. Корреляция между суммой отрицательных зимних температур воздуха и ПМЛ в марте слабее, поскольку разрастание площади льдов зимой ограничено областью распространения слоя опресненной воды в высоких и умеренных широтах Северного полушария [7].

Основная причина расхождений в оценке изменений площади льда между моделями и наблюдениями в том, что модели значительно занижают летнюю

температуру воздуха (рис. 6 цв. вклейки) вследствие, по-видимому, недостаточной чувствительности к изменениям радиационного воздействия и с занижением собственной изменчивости климатической системы в Арктике.

Расчеты на модели морского льда СЛО, разработанной в ААНИИ, с форсингом по данным NCEP показали значительно лучшее согласие изменений ледяного покрова в последнее десятилетие с данными наблюдений по сравнению с глобальными моделями [16]. Эксперименты с этой моделью по оценке роли динамики льда и притоков тепла из атмосферы показали решающее воздействие второго фактора в формировании аномального сокращения площади льда в сентябре 2007 г.

Другой важный параметр морского ледяного покрова — его толщина, как показали измерения с борта атомных ледоколов, выполненные сотрудниками ААНИИ в 1977–2009 гг., также уменьшился [15]. Причем эти изменения произошли после 1987 г. за счет сокращения количества многолетних льдов (табл. 4).

Таблица 4

Количество и средняя толщина льдов различного возраста на пути плавания а/л «Арктика» в августе 1977 г. и НЭС «Академик Федоров» в августе 2005 г.

Лед	1977 г.		2005 г.	
	Кол-во	Толщина	Кол-во	Толщина
Однолетний	44 %	120 см	74 %	119 см
Многолетний	56 %	238 см	26 %	225 см
Вместе	100 %	186 см	100 %	142 см

Для формирования климата морской Арктики важным процессом является поступление теплой и соленой воды из Северной Атлантики. Приток атлантической воды (АВ) в Арктику составляет часть глобального океанического конвейера, связывающего океаны транспортом тепла, соли и пресной воды. Поступая из Северной Атлантики, АВ распространяются по акватории Норвежского, Гренландского и Баренцева морей и проникают в Арктический бассейн, где занимают промежуточный слой на глубинах от 100 до 800 метров [12,13]. Атлантическая вода является важным источником тепла в приатлантическом секторе Арктики и источником соли для арктических вод, подвергающихся постоянному опреснению. Постоянный приток тепла от слоя АВ в верхний слой Арктического бассейна ограничивает зимнее нарастание льда. Все это указывает на то, что поступление АВ является важным климатообразующим процессом в арктической климатической системе и его мониторинг должен быть составной частью слежения за изменениями климата [5, 6, 19].

Поток атлантической воды на протяжении от пролива Фрама до моря Лаптевых включительно сконцентрирован в узкой зоне вдоль материкового склона и доступен для мониторинга с помощью современных судов ледокольного типа и небольшого числа длительных закоренных подводных (и подледных) измерителей течений, температуры и солености воды. Обобщение океанографических данных, собранных в Арктическом бассейне с начала наблюдений, позволило выбрать районы, наиболее освещенные наблюдениями, и сформировать климатические ряды характеристик АВ по 2009 г. включительно. Одной из таких характеристик является максимальная температура в слое АВ в шести районах Арктического бассейна (рис. 7).

Приведенные на рисунке изменения максимальной температуры АВ показывают начало современного повышения температуры АВ в проливе Фрама в 1987 г., которое разделяется на два этапа. Второй этап повышения температуры начался в 1997 г. Его начало прослеживается и в других рассматриваемых райо-

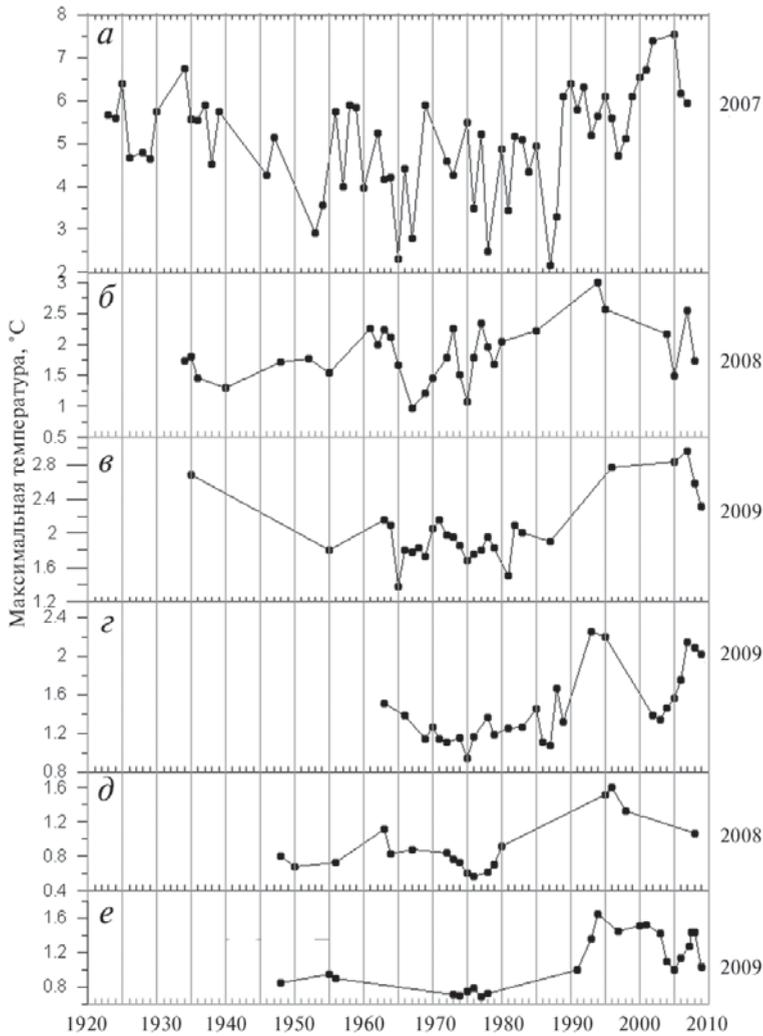


Рис. 7. Изменения максимальной температуры в слое АВ по данным измерений в шести районах Арктического бассейна в 1920–2009 гг.: *а* – пролив Фрама, *б* – желоб Св. Анны, *в* – точка с координатами 83° с.ш., 90° в.д., *г* – точка с координатами 80° с.ш., 120° в.д., *д* – точка с координатами 81° с.ш., 150° в.д., *е* – Северный полюс

нах с запаздыванием до 8 лет в районе Северного полюса. В последние годы повышенные значения температуры АВ сохраняются, однако наметилась тенденция к их уменьшению.

Сопоставление изменений температуры АВ в Арктическом бассейне и в Северной Атлантике, начиная от тропической области (рис. 8), показывает присутствие во всех рассматриваемых рядах сходных междесятилетних изменений с преобладанием роста температуры в последние 30 лет. Исключение составляет район 40–60° с.ш., где имеет место оппозиция аномалий температуры между восточной и западной частями района.

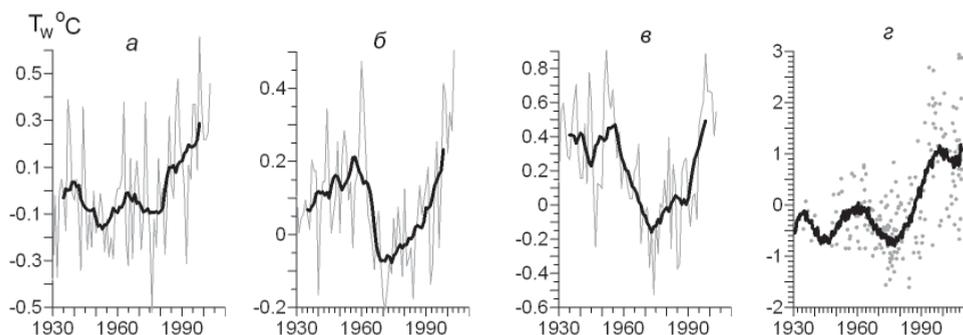


Рис. 8. Аномалии среднегодовой температуры воды на поверхности Северной Атлантики (слева направо: 10° ю.ш.– 10° с.ш., 20° – 40° с.ш., 40° – 60° с.ш.) по данным массива HadSST [23] и нормированные аномалии максимальной температуры АВ во всех рассмотренных выше районах Арктического бассейна. Жирные линии – сглаженные по 11 лет, а для АВ аппроксимированные полиномом

Расчеты взаимных корреляций между исходными и сглаженными рядами показывают запаздывание изменений температуры на поверхности Северо-Европейского бассейна относительно тропиков 26 лет и 2–3 года относительно района 20° – 40° с.ш. Начало потепления в Северной Атлантике приходится на 1970-е гг., в проливе Фрама – на конец 1980-х гг., а в Арктическом бассейне на начало 1990-х гг.

Наиболее значительные климатические изменения в морской Арктике произошли в основном за последние 15 лет, что не согласуется с представлением о постепенном развитии потепления начиная с 1970-х гг. Особенно это заметно в изменении площади морских льдов, которая сокращалась особенно быстро с конца 1990-х гг. Изменения в Арктическом бассейне стали заметными с конца 1980-х – начала 1990-х гг. В развитии потепления в атмосфере и океане выделяются два этапа – в начале 1990-х и в 2000-х гг., которым соответствуют такие же особенности в развитии потепления в области 0° – 30° с.ш. Северного полушария. Согласованы и междесятилетние изменения температуры АВ в Арктическом бассейне и в Северной Атлантике от тропиков до умеренных широт.

Сравнение части отмеченных изменений с результатами расчетов по ансамблю глобальных моделей климата показало существенную недооценку моделями наблюдаемого летнего сокращения площади морских льдов и занижение летней температуры воздуха в Арктике. Причина этих расхождений связана, по-видимому, с недостаточной чувствительностью моделей к изменениям радиационного воздействия и с занижением собственной изменчивости климатической системы. Важная роль в формировании этой части изменчивости климата принадлежит циркуляции атмосферы и океана. Подтверждением является связь климатических аномалий в высоких и низких широтах и сильная обратная зависимость между аномалиями средней температуры воздуха и пространственными контрастами температуры в Северном полушарии [14]. Колебания атмосферной циркуляции усиливают или ослабляют обогрев холодных областей Земли. Важная роль в этом принадлежит океану, обеспечивающему расходование летнего притока тепла на зимний обогрев высоких и умеренных широт.

Исследования проводились в рамках кластера проектов ААНИИ по программе МПГ 2007/08, целевой научно-технической программы Росгидромета на 2008–2010 гг. и при поддержке Росийского фонда фундаментальных исследований (проекты 06-05-64054, 07-05-13358 офи-ц, 09-05-00232).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Е.И., Брызгин Н.Н., Дементьев А.А., Радионов В.Ф. Мониторинг климата приземной атмосферы северной полярной области // Тр. ААНИИ. 2007. Т. 447. С. 18–32.
2. Александров Е.И., Брызгин Н.Н., Дементьев А.А., Радионов В.Ф. Метеорологический режим Арктического бассейна (по данным дрейфующих станций). Т. II. Климат приледного слоя атмосферы Арктического бассейна. СПб.: Гидрометеоздат, 2004. 144 с.
3. Александров Е.И., Дементьев А.А. База приземных метеорологических данных полярных районов и ее использование // Формирование базы данных по морским льдам и гидрометеорологии. СПб.: Гидрометеоздат, 1995. С. 67–75.
4. Алексеев Г.В., Данилов А.И., Катцов В.М., Кузьмина С.И., Иванов Н.Е. Морские льды Северного полушария в связи с изменениями климата в XX и XXI веках по данным наблюдений и моделирования // Известия АН, сер. ФАО. 2009. Т. 45. № 6. С. 723–735.
5. Алексеев Г.В., Пнюшков А.В., Иванов Н.Е., Ашик И.М., Соколов В.Т. Комплексная оценка климатических изменений в морской Арктике с использованием данных МПГ 2007/08 // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. № 1 (81). С. 7–14.
6. Алексеев Г.В., Фролов И.Е., Соколов В.Т. Наблюдения в Арктике не подтверждают ослабление термохалинной циркуляции в Северной Атлантике // ДАН. 2007. Т. 413. № 2. С. 277–280.
7. Захаров В.Ф. Морские льды в климатической системе. СПб.: Гидрометеоздат, 1996. 214 с.
8. Каган Р.Л. Осреднение метеорологических полей. Л.: Гидрометеоздат, 1979. 212 с.
9. Лугина К.М., Сперанская Н.А. Изменчивость средней годовой приземной температуры воздуха в высоких широтах Северного полушария // Тр. ГГИ. 1984. № 295. С. 87–97.
10. Радионов В.Ф., Александров Е.И., Брызгин Н.Н. Метеорологические условия в околополюсном районе Северного Ледовитого океана (по данным наблюдений на дрейфующих станциях «Северный полюс-32, 33, 34» // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 75. С. 50–63.
11. Радионов В.Ф., Александров Е.И., Арутюнов А.В. Метеорологические условия в период дрейфа станции «Северный полюс-32» // Метеорология и гидрология. 2004. № 11. С. 90–96.
12. Тимофеев В.Т. Водные массы Арктического бассейна. Л.: Гидрометеоздат, 1960. 190 с.
13. Трешников А.Ф., Баранов Г.И. Структура циркуляции вод в Арктическом бассейне. Л.: Гидрометеоздат, 1972. 158 с.
14. Формирование и динамика современного климата Арктики / Под ред. проф. Г.В.Алексеева. СПб.: Гидрометеоздат, 2004. 265 с.
15. Фролов С.В., Федяков В.Е., Третьяков В.Ю., Клейн А.Э., Алексеев Г.В. Новые данные об изменении толщины льда в Арктическом бассейне // Доклады АН. 2009. Т. 425. № 1. С. 104–108.
16. Шутилин С.В., Макитас А.П., Алексеев Г.В. Модельные оценки ожидаемых изменений ледяного покрова СЛО при антропогенном потеплении в XXI веке // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. № 2 (79). С. 101–110.
17. Aleksandrov Ye.I., Bryazgin N.N., Forland E.J., Radionov V.F., Svyashchennikov P.N. Seasonal, interannual and long-term variability of precipitation and snow depth in the region of the Barents and Kara seas // Polar Research. 2005. № 24 (1–2). P. 69–85.
18. Alekseev G.V., Kuzmina S.I., Nagurny A.P., Ivanov N.E. Arctic sea ice data sets in the context of the climate change during the 20th century // Climate variability and extremes during the past 100 years. Series: Advances in Global Change Research. 2007. Vol. 33. P. 47–63.
19. Alekseev G.V., Johannessen O.M., Korablev A.A., Proshutinsky A.Y. Ocean and sea ice // Arctic Environment Variability in the Context of the Global Change / Edited by L.P.Bobylev, K.Ya. Kondratyev and O.M.Johannessen. Springer-Praxis, 2003. P. 107–236.
20. Arctic Climatology Project. 2000. Environmental Working Group Arctic Meteorology and Climate Atlas/ Edited by F. Fetterer and V. Radionov. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center. CD-ROM.
21. Climate of 2009. Annual Report. 15.01.10. National Climatic Data Center.
22. National Snow and Ice Data Center. 2003. Meteorological Data from the Russian Arctic, 1961–2000. V. Radionov, compiler. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center. Digital media. URL: <http://nsidc.org/data/g02141.html> [дата посещения 29.01.10]

23. Rayner, N.A., Brohan P., Parker D.E., Folland C.K., Kennedy J.J., Vanicek M., Ansell T., Tett S.F.B. Improved analyses of changes and uncertainties in marine temperature measured in situ since the mid-nineteenth century: the HadSST2 dataset // J. Climate. 2006. Vol. 19. P. 446–469.

G.V.ALEKSEEV, V.F.RADIONOV, E.I.ALEKSANDROV, N.E.IVANOV, N.E.KHARLANENKOVA

CLIMATE CHANGE IN THE ARCTIC AND THE NORTHERN POLAR REGION

It is analyzed the change of representative climatic parameters of the atmosphere, sea ice and ocean in the Arctic and the Northern polar region for the period of instrumental observation up to 2009. Data from IPY 2007/08 is used also. Arctic climate change is compared with change in other regions and with results from the global climate models.

Key words: Climate Changes, Northern Polar Region, Arctic, Arctic Ocean, IPY 2007/08.