

УДК 551.582

## Изменения температуры, осадков и снежного покрова в районах арктических морей за 1981–2010 гг.

© 2013 г. В.Ф. Радионов, Е.И. Александров, Н.Н. Брызгин, А.А. Дементьев

Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

vradion@aari.ru

Статья принята к печати 1 августа 2012 г.

Арктика, осадки, снежный покров, температура воздуха.  
Air temperature, Arctic, precipitation, snow cover.

Представлены результаты климатического обобщения и анализа рядов наблюдений за температурой, осадками и снежным покровом в районах арктических морей и на станциях Канадского Арктического архипелага севернее 70° с.ш. за период 1981–2010 гг. Используются данные метеонаблюдений на стационарных береговых и островных станциях, на дрейфующих станциях «Северный полюс» и с дрейфующих буёв в Центральном Арктическом бассейне. Приведены количественные оценки тенденций изменения рассматриваемых метеохарактеристик за последние 30 лет в районах арктических морей и в Арктическом бассейне.

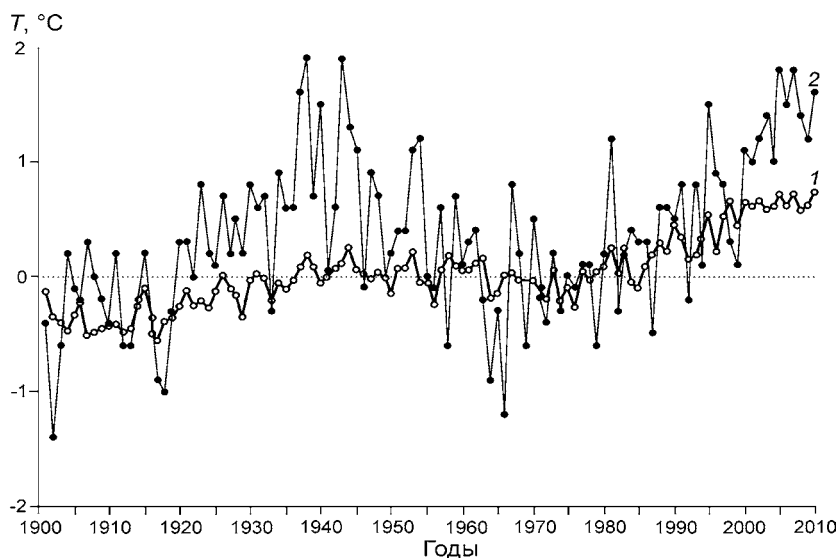
### Введение

Современное глобальное потепление — одна из ключевых климатических проблем. Изменение температуры воздуха над покрытой льдами акваторией Северного Ледовитого океана влияет на летнее таяние снежного и ледяного покрова и их зимнее разрастание. Наиболее ярко глобальное потепление в высоких широтах Северного полушария проявилось в сокращении площади льда в океане в сентябре — месяце минимального распространения ледяного покрова [3]. Потепление влияет также на характеристики снежного покрова на льду в Арктическом бассейне и окраинных морей Северного Ледовитого океана: его толщину, а также сроки установления и продолжительности залегания. Снежный покров формируется под воздействием комплекса процессов в атмосфере и на поверхности. На снегонакопление влияют: количество выпадающих осадков; их тип и продолжительность; снегоперенос и сублимация; орографические условия; характер поверхности. К ключевым крупномасштабным физико-географическим и климатическим факторам, формирующим региональные особенности распределения снежного покрова, относятся: рельеф; наличие или отсутствие растительности; пространственное распределение отрицательных температур; локализация основных циклонических траекторий, переносящих влагу в Арктику. Температура воздуха — основной фактор, определяющий продолжительность залегания снежного покрова.

Для оценки произошедших за последние 30 лет изменений температуры воздуха, осадков и характеристик снежного покрова в высоких северных широтах использованы результаты наблюдений на

стационарных российских и зарубежных метеостанциях, расположенных на побережьях окраинных морей Северного Ледовитого океана, на дрейфующих станциях «Северный полюс» (СП), а также данные с дрейфующих буёв. В дальнейшем используются среднемесячные значения этих метеопараметров и их величины, пространственно осреднённые по территориям климатически однородных районов Арктики, расположенных в широтной зоне 70–85° с.ш. По долготе границы этих районов следующие: атлантический (50° з.д. — 30° в.д.); северо-европейский (30–60° в.д.); западносибирский (60–100° в.д.); восточносибирский (100–150° в.д.); чукотский (150° в.д. — 170° з.д.); аляскинский (170–120° з.д.); канадский (120–50° з.д.) [5]. По существу, эти территории географически соответствуют акваториям окраинных морей океана и территории Канадского Арктического архипелага.

Климатические условия в атлантическом, северо-европейском и западносибирском секторах формируются преимущественно под влиянием переноса тепла и влаги из Северной Атлантики. Климат в восточносибирском и чукотском секторах в значительной степени определяется условиями над северной частью Тихого океана и центром действия атмосферы над Восточной Сибирью. Аляскинский сектор также находится под влиянием атмосферных процессов, протекающих над северной частью Тихого океана. В канадском секторе климатические условия зимой регулируются как антициклонической циркуляцией над северо-западной Канадой и Арктическим бассейном, так и частым смещением областей низкого давления над провинцией Альберта в Канаде и синоптических систем над восточным побережьем Атлантики [11].



**Рис. 1.** Многолетний ход аномалий (норма за период 1961–1990 гг.) среднегодовой температуры воздуха:

1 – 0–90° с.ш.; 2 – 60–85° с.ш.

**Fig. 1.** Interannual changes of mean annual air temperature anomalies (from a multiyear average for 1961–1990):

1 – 0–90° N; 2 – 60–85° N

### Температура воздуха

В качестве характеристик изменения температуры воздуха использованы величины её аномалий, рассчитанные относительно средних значений температуры за базовый период Всемирной метеорологической организации на 1961–1990 гг. Для расчёта аномалий температуры воздуха, осреднённых по территории Северной полярной области и отдельным её частям, использован метод оптимального осреднения [4]. На рис. 1 показаны межгодовые изменения аномалий среднегодовой температуры воздуха в этой области (60–85° с.ш.) [5] и в Северном полушарии [12] с 1900 г. Как отмечалось в работе [8], рост температуры в Северной полярной области в 1920–30-е годы сменился быстрым её понижением, наблюдавшимся до середины 1960-х годов. Затем вновь начался рост температуры, продолжающийся до настоящего времени. Связь между изменениями температуры над Северной полярной областью и Северным полушарием в целом за весь период наблюдений с 1900 г. статистически значима на 5%-м уровне. Коэффициент корреляции более чем за столетие составляет 0,68. В периоды повышения температуры он ещё выше: 0,73 – за период 1901–1940 гг.; 0,79 – за период 1965–2010 гг. В период понижения температуры в этой области (1941–1964 гг.) коэффициент корреляции снизился до значения 0,41.

В зоне севернее 70° с.ш., т.е. в районах арктических морей и Арктического бассейна, изменения температуры также тесно (статистически значимо на 5%-м уровне) связаны с изменениями температуры в Северном полушарии. Лишь при понижении температуры в 1940–60-е годы связь была статистически не значима – коэффициент корреляции равен 0,23. Температура воздуха над акваториями арктических морей в эти годы понижалась более интенсивно, чем над всем Северным полушарием. Коэффициент линейного уменьшения

среднегодовой температуры с 1941 по 1964 г. составил  $-0,47\text{ °C}/10$  лет над территорией севернее 70° с.ш. и  $-0,03\text{ °C}/10$  лет над Северным полушарием в целом.

В последний 30-летний период (1981–2010 гг.) вошли восемь из первой десятки наиболее тёплых лет за весь период инструментальных наблюдений в Северной полярной области. После 1993 г. здесь наблюдались только положительные аномалии среднегодовой температуры воздуха. В общем, для широтной зоны к северу от 70° с.ш. линейное повышение среднегодовой температуры за последний 30-летний период составило около  $2,2\text{ °C}$ , в то время как для Северного полушария – около  $0,7\text{ °C}$  (табл. 1).

За период 1981–2010 гг. повышение среднегодовой температуры воздуха было статистически значимым на 5%-м уровне над всеми районами арктических морей (рис. 2, см. табл. 1). Наибольшее линейное увеличение температуры произошло над северной частью Канадского Арктического архипелага и морем Бофорта –  $2,4$  и  $2,8\text{ °C}$  за 30 лет соответственно. Несколько меньшая величина потепления – около  $1,8\text{ °C}$  за 30 лет – наблюдается в районах морей Лаптевых и Восточно-Сибирского.

Из табл. 1 также следует, что повышение среднегодовой температуры за последние 30 лет в Северном полушарии в значительной степени связано с ростом температуры в летний и осенний сезоны, а в зоне 70–85° с.ш. – в осенний и зимний. В различных частях «морской Арктики» (70–85° с.ш.) скорости потепления неодинаковы. Так, в зимний сезон повышение температуры в северных частях Гренландского, Норвежского и Баренцева морей составило немногим более  $4\text{ °C}$  за 30 лет, а в районах морей азиатского сектора – Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского – повышение температуры за тот же период было в диапазоне от  $0,4$  до  $1,1\text{ °C}$  за 30 лет. В осенний сезон основное повы-

Таблица 1. Коэффициенты линейного тренда  $b$ , °C/10 лет, (числитель) средней за сезон и за год температуры воздуха за период 1981–2010 гг. в различных частях Северной полярной области и в Северном полушарии и доля дисперсии, выбираемая линейным трендом  $D$ , %, (знаменатель)\*

Широтная зона, район	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	<b>1,35/58,6</b>	<b>0,76/54,4</b>	<b>0,59/78,3</b>	<b>0,66/60,3</b>	<b>0,84/77,5</b>
Баренцево море	<b>1,40/57,4</b>	<b>0,54/36,6</b>	<b>0,32/39,4</b>	<b>0,67/48,1</b>	<b>0,75/68,1</b>
Карское море	0,93/29,7	<b>0,88/41,9</b>	<b>0,26/39,9</b>	<b>1,12/45,2</b>	<b>0,79/53,2</b>
Море Лаптевых	0,12/7,0	<b>0,69/40,7</b>	<b>0,52/47,5</b>	<b>0,98/51,8</b>	<b>0,57/48,8</b>
Восточно-Сибирское море	0,14/11,1	<b>0,71/37,9</b>	<b>0,40/45,8</b>	<b>1,35/63,7</b>	<b>0,71/61,0</b>
Чукотское море	0,35/19,4	<b>0,75/32,5</b>	<b>0,61/55,3</b>	<b>1,51/61,8</b>	<b>0,79/62,0</b>
Море Бофорта	<b>1,08/56,9</b>	0,42/26,8	<b>0,54/51,1</b>	<b>1,54/77,8</b>	<b>0,81/76,3</b>
Канадский Арктический архипелаг	<b>1,25/53,4</b>	<b>1,04/60,2</b>	0,21/23,8	<b>1,09/68,1</b>	<b>0,95/72,7</b>
85–90° с.ш.	<b>1,23/62,2</b>	<b>0,56/43,2</b>	0,18/28,6	<b>1,29/64,7</b>	<b>0,81/72,3</b>
70–85° с.ш.	<b>0,86/59,1</b>	<b>0,74/62,9</b>	<b>0,44/73,5</b>	<b>0,98/75,1</b>	<b>0,75/81,9</b>
0–90° с.ш.	<b>0,18/70,2</b>	<b>0,22/85,2</b>	<b>0,25/87,5</b>	<b>0,26/83,2</b>	<b>0,22/86,5</b>

\*Жирным шрифтом в табл. 1–3 выделены значения, статистически значимые на 5%-м уровне значимости.

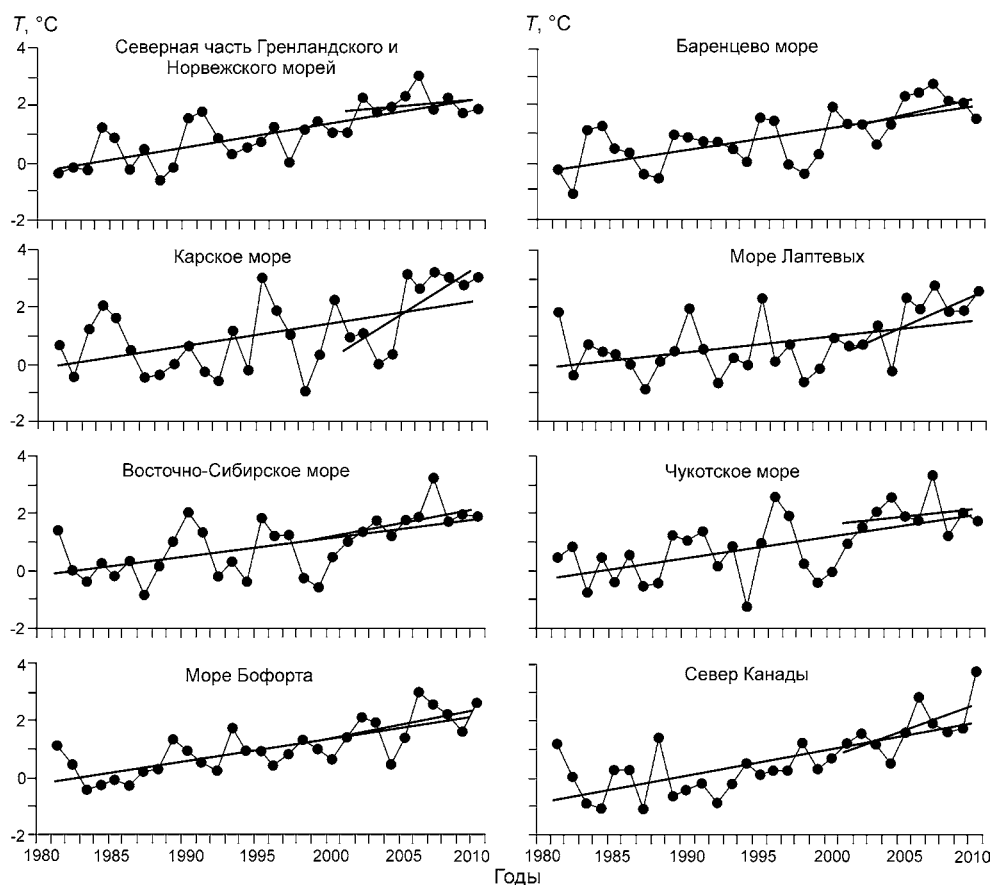


Рис. 2. Межгодовой ход аномалий (от нормы за 1961–1990 гг.) среднегодовой температуры воздуха в районах арктических морей и над сушей в широтной зоне 70–85° с.ш. и их линейные тренды за 1981–2010 и 2001–2010 гг.

Fig. 2. Interannual variations of anomalies (from a multiyear average for 1961–1990) of mean annual air temperature in the areas of the Arctic seas and over the land in the latitudinal zone of 70–85° N and their linear trends for 1981–2010 and 2001–2010

шение температуры наблюдалось в районе Чукотского моря и моря Бофорта – около 4,5 °C за 30 лет.

Возобновление работы дрейфующих станций «Северный полюс» в Арктическом бассейне в 2003 г. после 12-летнего перерыва позволило оценить современное повышение температуры воздуха в околополюсном районе на основе инструментальных измерений [7, 9]. Средние многолетние значения (нормы) температуры, относительно которых вычислялись

аномалии, ранее были рассчитаны в работе [9] по данным наблюдений на дрейфующих станциях СП-3 – СП-29, работавших в 1954–1988 гг. севернее 85° с.ш. [1]. Линейное увеличение среднегодовой температуры в этом районе Северного Ледовитого океана с 1981 по 2010 г. составило 2,4 °C. В осенний и зимний сезоны потепление было более интенсивным: линейный прирост средней температуры за 30 лет составил 3,9 °C в осенние месяцы и 3,7 °C – в зимние.

**Осадки**

При анализе данных о сумме осадков за год или за сезон, в отличие от способа вычисления средних по площади значений температур, средние для того или иного региона суммы осадков получены арифметическим осреднением их значений на сети станций в рассматриваемых районах. На фоне повышения среднегодовой температуры за последние 30 лет и ещё более выраженного повышения средних температур за осенний и зимний сезоны изменялся режим выпадения осадков и соответственно параметры снежного покрова. На рис. 3 показана многолетняя изменчивость сумм осадков за холодный период (октябрь–май), а в

табл. 2 приведены параметры их изменений в тёплый и холодный периоды года и в целом за год.

Наибольшая межгодовая изменчивость осадков наблюдается на арктических станциях в северной части Гренландского и Норвежского морей. Она почти в два раза выше межгодовой изменчивости осадков на станциях в районах морей азиатского сектора и в северной части Канадского Арктического архипелага. Для периода 1981–2010 гг. характерна тенденция увеличения количества твёрдых осадков почти во всех районах арктических морей и во всей широтной зоне 70–85° с.ш. в целом. Исключение составляют многолетние изменения осадков в районах морей Чукотско-

Таблица 2. Коэффициенты линейного тренда  $b$ , мм/10 лет, (числитель) годовых и сезонных сумм осадков за период 1981–2010 гг. и их изменение  $\Delta p$ , %, (знаменатель) относительно нормы за этот же период 1981–2010 гг.

Широтная зона, район	Холодный период	Тёплый период	Год
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	8,61/10,1	3,00/8,0	11,60/9,5
Баренцево море	5,35/6,5	-5,23/-10,8	0,12/0,1
Карское море	<b>6,60/14,9</b>	-4,44/-11,2	2,15/2,5
Море Лаптевых	0,03/0,1	1,42/3,4	1,45/1,9
Восточно-Сибирское море	1,99/5,8	-6,48/-19,5	-4,49/-6,7
Чукотское море	-4,32/-9,7	-4,62/-12,2	-8,94/-10,8
Море Бофорта	-4,05/-12,6	-0,51/-1,7	-4,57/-7,4
Канадский Арктический архипелаг	1,46/7,0	-4,19/-18,1	-2,73/-6,2
85–90° с.ш.	<b>8,26/20,0</b>	-3,94/-14,5	4,31/8,6
70–85° с.ш.	<b>2,66/14,5</b>	-2,78/-3,1	-0,12/-0,1

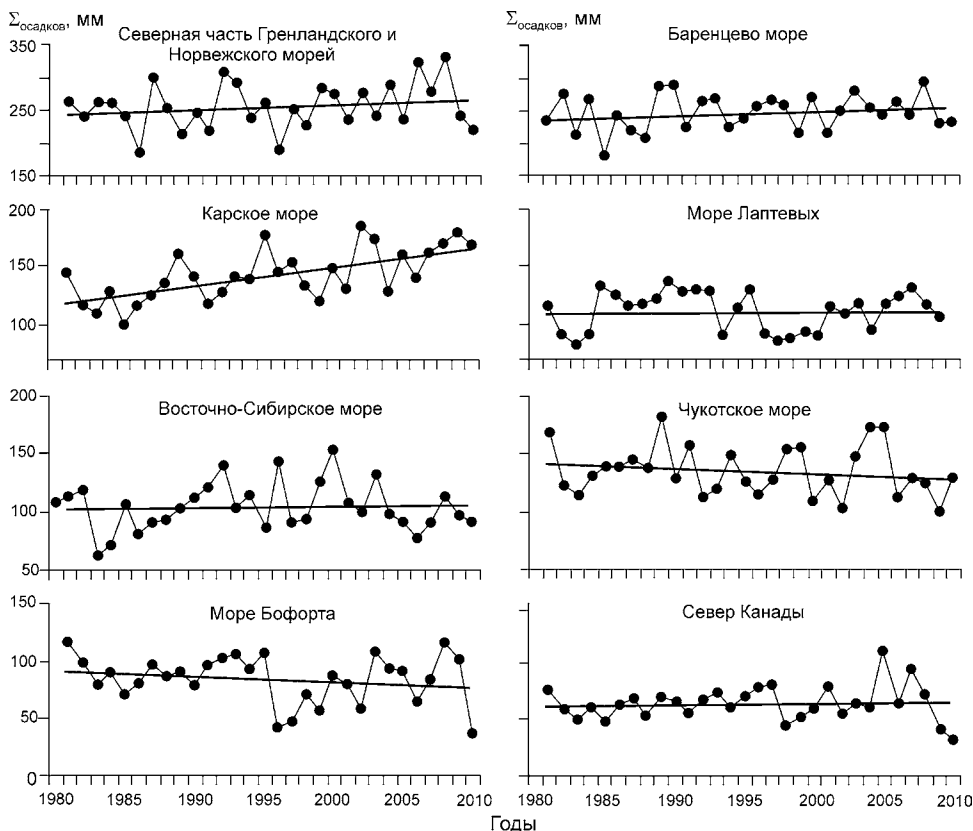


Рис. 3. Многолетняя изменчивость сумм осадков за холодный период (октябрь–май) в районах арктических морей и суши в широтной зоне 70–85° с.ш.

Fig. 3. Multiyear variability of precipitation totals for the cold period (October–May) in the areas of the Arctic Seas and the land in the latitudinal zone of 70–85° N

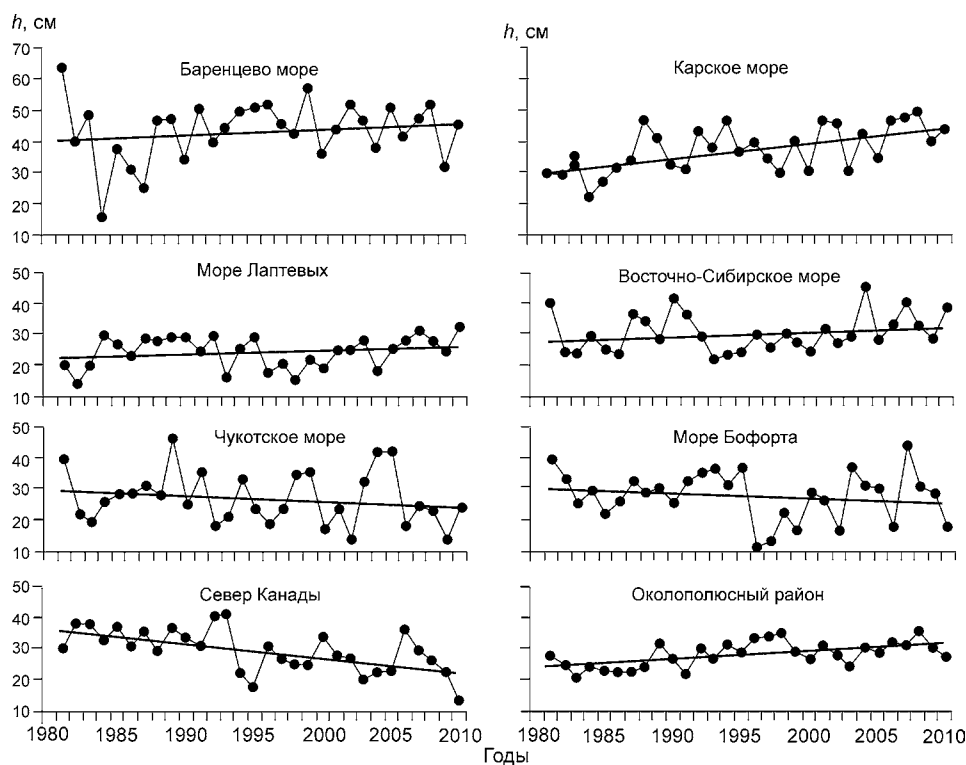


Рис. 4. Многолетняя изменчивость толщины снежного покрова в районах арктических морей и суши в широтной зоне 70–85° с.ш.

Fig. 4. Multiyear variability of the snow depth in the areas of the Arctic seas and the land in the latitudinal zone of 70–85° N

го и Бофорта. Вместе с тем статистически значимый рост твёрдых осадков в 1981–2010 гг. отмечается только в районе Карского моря и в Арктическом бассейне (см. табл. 2). Линейное увеличение сумм осадков холодного периода в этих районах составило 15 и 20% по отношению к среднему значению за эти годы.

В суммах осадков за тёплый период (июнь–сентябрь) статистически значимых изменений не обнаружено, хотя в большинстве районов наблюдается тенденция к многолетнему снижению количества жидких осадков. Больше всего этот параметр снизился в районах Восточно-Сибирского и Чукотского морей и на севере Канады. В целом, в годовых суммах осадков в широтной зоне 70–85° с.ш. статистически значимая тенденция их изменений отсутствует. Максимальный рост годовых сумм осадков характерен для северной части Гренландского и Норвежского морей, а также для Арктического бассейна, а максимальное снижение — для акваторий морей Чукотского и Бофорта.

### Снежный покров

Рассмотрим данные о толщине снежного покрова в период его максимального накопления, датах его установления и схода, а также о продолжительности залегания устойчивого снежного покрова.

**Толщина снежного покрова** определялась по результатам снегомерных наблюдений в процессе снегомерных маршрутов или на метеоплощадке по трём снегомерным рейкам. При отсутствии данных снегомерных

наблюдений для расчётов толщины снега использовалась гипотеза о равенстве снегозапасов в момент максимального снегонакопления сумме твёрдых осадков за весь период снегонакопления. Сумма твёрдых осадков за весь период снегонакопления (октябрь–май) вычислялась суммированием месячных сумм осадков, скорректированных по методике, приведённой в работе [10]. Предполагалось, что она равна снегозапасу в максимум снегонакопления. Толщина снежного покрова вычислялась по формуле

$$H = 3BC / (10 \times \rho),$$

где  $H$  — толщина снежного покрова, см;  $3BC$  — снегозапас, мм;  $\rho$  — плотность снега, г/см<sup>3</sup>.

На рис. 4 показан многолетний ход толщины снежного покрова в период максимального снегонакопления, осреднённый по территориям окраинных морей Северного Ледовитого океана, Канадского Арктического архипелага и Арктического бассейна. Оценки коэффициентов линейного тренда толщины снега за период 1981–2010 гг. (табл. 3) показывают, что отрицательный тренд характерен только для морей тихоокеанского (Чукотское и Бофорта) и канадского секторов. Над акваториями других морей и в Арктическом бассейне толщина снежного покрова увеличивалась.

Отличия в тенденциях изменений количества выпадающих твёрдых осадков (см. рис. 3) и толщины снежного покрова за последнее 30-летие в западной и восточной частях «морской» Арктики наиболее веро-

Таблица 3. Коэффициенты линейного тренда толщины снежного покрова  $b_1$  (см/10 лет), дат образования  $b_o$ , разрушения  $b_p$  и продолжительности залегания устойчивого снежного покрова  $b_n$  за период 1981–2010 гг., дни/10 лет (числитель); доля дисперсии, выбираемая линейным трендом  $D$ , % (знаменатель)

Широтная зона, район	Толщина снежного покрова	Дата образования	Дата разрушения	Продолжительность залегания снега
Баренцево море	1,91/17,5	-2,25/28,2	2,49/17,3	-4,55/52,6
Карское море	<b>4,67/57,1</b>	-4,54/31,7	-0,35/17,0	-4,67/45,5
Море Лаптевых	1,09/19,4	-2,30/33,2	<b>4,59/44,1</b>	-1,06/12,1
Восточно-Сибирское море	1,50/21,8	-5,52/54,7	<b>5,15/45,3</b>	-3,71/40,7
Чукотское море	-1,66/17,3	-5,94/55,9	1,27/20,2	-6,10/58,0
Море Бофорта	-1,57/17,6	-4,11/33,3	1,74/14,9	-5,30/56,8
Канадский Арктический архипелаг	-4,60/59,9	-0,91/14,0	0,26/9,6	-1,92/24,6
85–90° с.ш.	<b>2,58/57,2</b>	-1,95/37,3	1,91/36,0	-4,52/29,6

\*Знак минус в дате означает более позднюю, а плюс – более раннюю дату образования или разрушения снежного покрова.

ятно связаны с изменением характера синоптических процессов в арктической атмосфере. В работе [3] подчёркивается, что «в 50–60 гг. минувшего века арктический антициклон имел исключительно большую повторяемость. В дальнейшем от года к году она уменьшалась и к 90-м гг. достигла минимальных значений. После нескольких лет пассивности арктический антициклон опять начал восстанавливаться и усиливаться. Это продолжается уже второе десятилетие ...». Таким образом, в последнее 20-летие большую часть года восточный регион Арктики находился под влиянием преимущественно развитого арктического антициклона, что и привело к уменьшению количества осадков и соответственно к снижению толщины снежного покрова в чукотском, аляскинском и канадском секторах. Но в целом во всей широтной зоне к северу от 70° с.ш. наблюдалось небольшое увеличение толщины снежного покрова (коэффициент линейной регрессии около 0,5 см/10 лет).

**Даты формирования, разрушения и продолжительности залегания устойчивого снежного покрова.** В работе [8] отмечалось, что межгодовая изменчивость дат формирования и разрушения снежного покрова велика – эти даты изменяются в пределах полутора месяцев. За дату образования устойчивого снежного покрова принимался день, когда снежный покров занимал не менее половины видимой площади в окрестностях станции, а за дату устойчивого разрушения снежного покрова весной считался день, когда снежный покров занимал не более половины видимой площади [6].

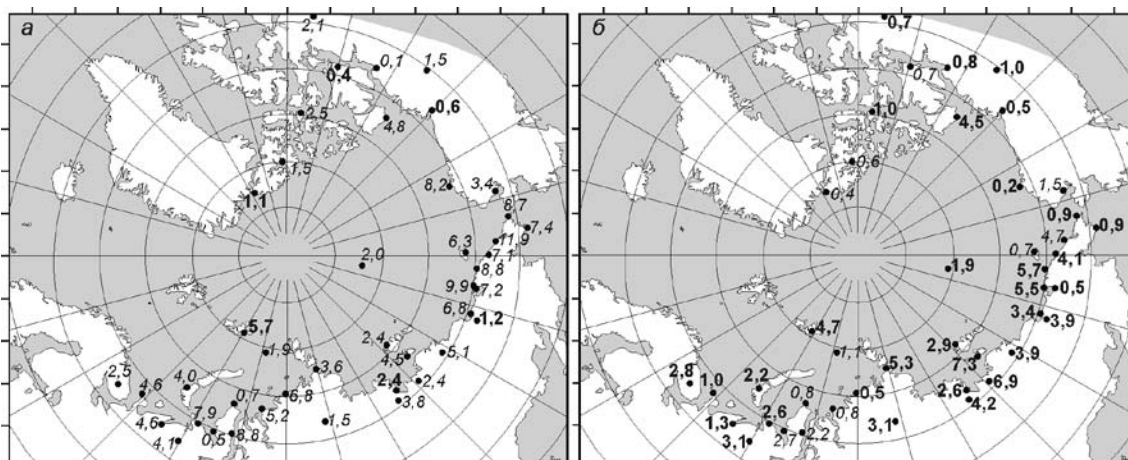
Снежный покров в Арктическом бассейне устанавливается с третьей декады августа в районе полюса, в конце сентября – на всём побережье морей, а в первой декаде октября – в границах всей Арктики. Устойчивое разрушение снежного покрова начинается с южных границ Арктики в конце мая – начале июня; на побережье – в первой декаде июня, а в Арктическом бассейне – только в начале второй декады июля. Таким образом, в среднем снежный покров отсутствует в районе полюса 30–40 дней, на

побережьях морей – около 90 дней, а на южной границе Арктики – 117 дней [6].

Оценки параметров линейного тренда дат образования и разрушения устойчивого снежного покрова и его продолжительности в акваториях арктических морей, на территории Канадского Арктического архипелага и в околополюсном районе даны в табл. 3. Коэффициенты линейного тренда аномалий дат образования и разрушения устойчивого снежного покрова на отдельных станциях приведены на рис. 5.

Во всех районах арктических морей отмечается тренд к более позднему образованию снежного покрова. При анализе сроков разрушения снежного покрова почти на всей территории севернее 70° с.ш. наблюдаются тенденции к более раннему разрушению, особенно в районах морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. Тренд к более позднему срокам разрушения снежного покрова отмечен только в районе Карского моря. Таким образом, за последние 30 лет наблюдается устойчивая тенденция к уменьшению продолжительности залегания устойчивого снежного покрова на всей территории севернее 70° с.ш. в отличие от 30-летия 1973–2001 гг., когда в Карском и Чукотском морях фиксировалась тенденция её увеличения [8]. Это связано с общим характером более позднего установления и более раннего схода снежного покрова на фоне изменения макроциркуляционных процессов в атмосфере в начале 1990-х годов [3].

Многолетний ход числа дней с устойчивым снежным покровом в районах арктических морей показан на рис. 6. За период 1981–2010 гг. почти для всех рассматриваемых районов тренд сокращения периода со снежным покровом был статистически значим на 5%-м уровне значимости (см. табл. 3). Больше всего сократилась продолжительность залегания снежного покрова в тихоокеанском секторе в районах морей Чукотского и Бофорта (15–18 дней за 30 лет); несколько меньшее сокращение отмечается в районах Баренцева и Карского морей (продолжительность уменьшилась на 15 дней); менее всего

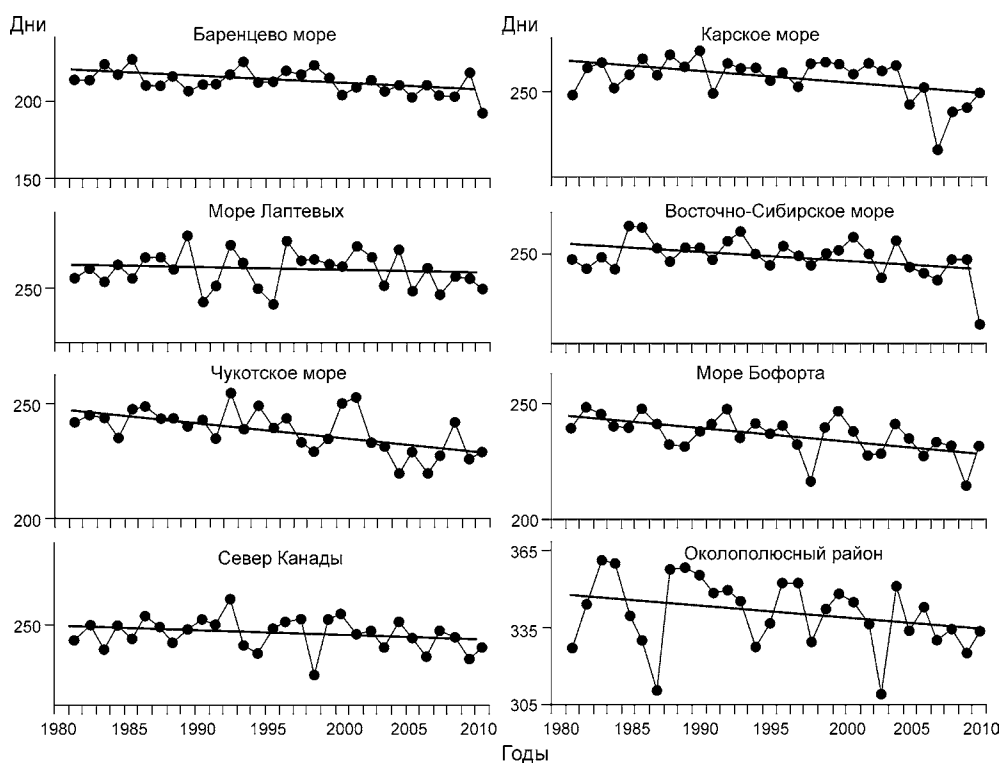


**Рис. 5.** Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда аномалий дат образования (а) и разрушения (б) снежного покрова на арктических станциях, дни/10 лет.

Курсив – более позднее, по сравнению со средними датами, образование и разрушение снежного покрова; жирный шрифт – более раннее

**Fig. 5.** Spatial distribution of coefficients of the linear trend of anomalies of the dates of formation (a) and decay (b) of the snow cover at the Arctic stations, days/10 years.

*Italics means more late formation and decay of snow cover, bold means earlier snow cover formation and decay*



**Рис. 6.** Многолетняя изменчивость числа дней со снежным покровом в районах арктических морей и суши в широтной зоне 70–85° с.ш. и в околополюсном районе 85–90° с.ш.

**Fig. 6.** Multiyear variability of the number of days with the snow cover in the areas of the Arctic seas and the land in the latitudinal zone of 70–85° N and in the near-pole area of 85–90° N

изменилась продолжительность залегания снежного покрова в районе моря Лаптевых.

В околополюсном районе (85–90° с.ш.) в последнее 30-летие наблюдались статистически значимый тренд роста сумм осадков за холодный период со скоростью 8,26 мм/10 лет (см. табл. 2), а также статистически значимый тренд увеличения толщины снежного покрова к моменту максимального снегонакопле-

ния со скоростью 2,58 см/10 лет (см. табл. 3). Но в эти же годы здесь отмечается сокращение продолжительности залегания устойчивого снежного покрова со средней скоростью –4,5 дней/10 лет (см. табл. 3).

Эта картина изменений полностью противоположна той, которая наблюдалась в период непрерывной работы дрейфующих станций «Северный полюс» с 1954 по 1991 г. В работе [2] написано: «Если

в продолжительности снегозалегаания отмечалась тенденция к увеличению, то уменьшение высоты снежного покрова от 1954 к 1991 г. составило 2,0 – 2,5 см/10 лет. Это уменьшение происходило за счет уменьшения количества выпавших зимних осадков. ... В Арктическом бассейне количество твердых осадков за эти годы уменьшилось на 30 мм». Далее авторы пишут: «Следует указать, что тренды уменьшения высоты снега и осадков уже достигли в Арктике минимальных значений ... и, несомненно, сменятся на возрастающие. Такие же тенденции отмечаются во всей российской Арктике. ... Значительных изменений режима снежного покрова до 2005–2010 гг. не следует ожидать. Колебания будут проходить в пределах, характерных для предшествующих 30 лет, но с общим трендом некоторого увеличения высоты снежного покрова на льдах». Как видно, приведённые в настоящей статье данные об изменениях снежного покрова в 1981–2010 гг. полностью подтвердили это заключение.

### Заключение

В высоких широтах Северного полушария для периода 1981–2010 гг. в целом характерен рост среднегодовой температуры воздуха. Самые большие изменения температуры наблюдались в канадском, атлантическом секторах и центральной части Арктического бассейна. На фоне роста температуры отчётливо проявилась тенденция увеличения количества твёрдых осадков и уменьшения жидких при неизменности годовой суммы осадков в зоне 70–85° с.ш. Как следствие происходит незначительное увеличение толщины снега в арктической зоне к северу от 70° с.ш. Однако при этом отметим, что за последние 30 лет в тихоокеанском секторе – Чукотском море, море Бофорта и на севере Канадского Арктического архипелага – толщина снежного покрова в период максимального снегонакопления уменьшалась, что, вероятно, вызвано изменением характера макроциркуляционных процессов в конце 1980-х – начале 1990-х годов в арктической атмосфере [3].

Анализ данных о продолжительности залегания снежного покрова в зоне севернее 70° с.ш. позволил установить общую тенденцию к сокращению числа дней с устойчивым снежным покровом вследствие более позднего его установления и более раннего схода. В среднем по широтной зоне 70–85° с.ш. это уменьшение составило около 12 дней за 30 лет.

### Литература

1. Александров Е.И., Брызгин Н.Н., Дементьев А.А. Метеорологический режим Арктического бассейна (по данным дрейфующих станций): Т. I. СПб.: Гидрометеиздат, 1999. 344 с.

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.: Гидрометеиздат, 2004. 144 с.
3. Дмитриев А.А. О причинах возникновения природного феномена в Арктике летом 2007 г. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 77. С. 115–127.
4. Лугина К.М., Сперанская Н.А. Изменчивость средней годовой приземной температуры воздуха в высоких широтах северного полушария // Тр. ГГИ. 1984. № 295. С. 87–97.
5. Обзор гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане. 2010 / Под ред. И.Е. Фролова. СПб.: изд. ААНИИ, 2011. 96 с. <http://www.aari.ru/main.php>
6. Радионов В.Ф., Брызгин Н.Н., Александров Е.И. Снежный покров в Арктическом бассейне. СПб.: Гидрометеиздат, 1996. 124 с.
7. 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.
8. Радионов В.Ф., Александров Е.И., Байбородова В.Р., Брызгин Н.Н., Дементьев А.А. Многолетние изменения продолжительности залегания снега в Арктике // МГИ. 2004. Вып. 97. С. 136–142.
9. 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.
10. 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. V. 24. № 1–2. P. 69–85.
11. Callaghan T.V., Johansson M., Brown R.D., Groisman P.Ya., Labba N., Radionov V., Barry R.G., Bulygina O.N., Essery R.L.H., Frolov D.M., Golubev V.N., Grenfell T.C., Petrushina M.N., Razuvaev V.N., Robinson D.A., Romanov P., Shindell D., Shmakin A.B., Sokratov S.A., Warren S., Yang D. The Changing Face of Arctic Snow Cover: A Synthesis of Observed and Projected Changes // AMBIO. 2011. V. 40. P. 17–31. doi: 10.1007/s13280-011-0212-y.
12. Jones P.D., Parker D.E., Osborn T.J., Briffa K.R. Global and hemispheric temperature anomalies – land and marine instrumental records // Trends: A Compendium of Data on Global Change. 2011. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. doi: 10.3334/CDIAC/cli.002

### Summary

The results of climatic generalization and analysis of the observation series on air temperature, precipitation and snow cover in the regions of the Arctic Seas and at the stations of the Canadian Archipelago to the north of 70° N are presented for the period 1981–2010. One uses data of meteorological observations at the permanent coastal and island stations and at the «North Pole» drifting stations and data from drifting buoys in the Arctic Basin. Quantitative estimates of the tendencies of change of the considered meteorological characteristics for the last 30 years in the areas of the Arctic Seas and in the Arctic Basin are presented.