

В.Ф.РАДИОНОВ, Е.И.АЛЕКСАНДРОВ, Н.Н.БРЯЗГИН

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

**МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ОКОЛОПОЛЮСНОМ
РАЙОНЕ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА
(ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ НА ДРЕЙФУЮЩИХ СТАНЦИЯХ
«СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-32, 33, 34»)**

В статье представлены новые сведения о метеорологических условиях в центральной части Арктического бассейна. Они получены по результатам систематических метеорологических наблюдений на дрейфующих станциях «Северный полюс-32, 33, 34» в 2003–2006 гг. Проведено сравнение вновь полученных характеристик с режимными параметрами, характерными для предшествующих десятилетий, и с условиями, наблюдавшимися в околополюсном районе 100 лет назад в период дрейфа судна «Фрам». Результаты метеорологических наблюдений на дрейфующих станциях СП-32, 33, 34 инструментально подтвердили, что в Центральной Арктике температура воздуха повысилась по сравнению с температурами, измерявшимися на дрейфующих станциях в предшествующие десятилетия. Это повышение происходило на фоне начавшегося с середины 1960-х гг. общего потепления Арктики, в настоящее время сравнимого по величине с потеплением 1930-х гг.

ВВЕДЕНИЕ

В 2003 г. после двенадцатилетнего перерыва в Северном Ледовитом океане возобновились наблюдения на дрейфующих станциях «Северный полюс» (СП). К настоящему времени уже закончился дрейф станций СП-32, СП-33 и СП-34. Значительная часть их маршрута пролегла непосредственно в околополюсном районе Северного Ледовитого океана (СЛО). Это дает возможность продолжить изучение особенностей метеорологического режима центральной части Арктического бассейна на основе данных прямых инструментальных измерений метеорологических параметров. Описание метеорологических условий в 2003 г. по данным наблюдений на СП-32 было представлено в работе [6]. Новые данные метеорологических наблюдений на СП-33 и на СП-34 позволяют уточнить современные параметры метеорологического режима в околополюсном районе и сравнить их с наблюдавшимися почти 70 и 100 лет назад соответственно на СП-1 и находившемся в дрейфе судне «Фрам».

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ В ОКОЛОПОЛЮСНОМ РАЙОНЕ СЛО

Метеорологический режим высоких широт Северного полушария формируется в результате взаимодействия разнообразных климатообразующих факторов. Одной из основных особенностей, формирующих режим солнечной радиации и погоды вблизи полюса, является чередование полярных дня и ночи. На широте 85° с.ш. полярный день длится с 31 марта по 12 сентября, а полярная ночь – с 8 октября по 6 марта, севернее они начинаются раньше и заканчиваются позднее.

Во время полярного дня Солнце (центр его диска) не опускается под горизонт ниже 50 угловых минут, а во время полярной ночи Солнце остается все время под горизонтом, ниже 50 угловых минут.

Характерной подстилающей поверхностью в районе полюса являются многолетние паковые льды, покрытые снегом. Снежный покров эффективно препятствует теплообмену океана с атмосферой. Наличие снежного покрова на льдах на протяжении более чем 320 дней в году (в отдельные годы снег полностью не стаивает вообще) обуславливает высокие значения альбедо подстилающей поверхности и тем самым уменьшает количество поглощенной солнечной энергии. В результате радиационный баланс положителен только с мая по август и его максимальные месячные суммы в июле не превышают 150 МДж/м². Годовое значение радиационного баланса в районе полюса отрицательно и достигает величины -40 МДж/м² [2].

Вблизи полюса значения среднемесячной температуры с февраля по август ниже, а с сентября по январь несколько выше, чем для остальной части Арктического бассейна [2].

Минимум среднемесячной температуры воздуха приходится на февраль и равен $-36,2$ °С, а максимум отмечается в июле и составляет $-0,4$ °С. Межгодовая изменчивость температуры в холодные месяцы года близка к 3 °С, а летом значительно меньше и в июле в околополюсном районе не превышает 1 °С. Абсолютный максимум, отмеченный в районе, составляет около 4 °С, а минимум -56 °С.

Давление воздуха в Арктическом бассейне тесно связано с циркуляционными условиями. Основной максимум в годовом ходе давления в околополюсном районе приходится на апрель–май, когда уменьшаются термические и барические градиенты и начинает заполняться исландская депрессия. Минимум в годовом ходе давления наблюдается в июле-августе, когда в западной части Арктического бассейна образуется обширная депрессия. Межгодовая изменчивость среднемесячного давления в районе полюса составляет около 4 гПа в летние месяцы и 6–9 гПа в зимние.

Режим осадков характеризуется максимумом в августе-сентябре (23 мм) и минимумом в апреле или мае (8 мм). Годовая сумма осадков в районе полюса составляет около 167 мм. Твердые осадки выпадают в течение всех месяцев, а жидкие наблюдались с июня по сентябрь [2].

В околополюсном районе характерна сравнительно однородная поверхность, без крупных видов рельефа, вследствие чего повторяемость направлений ветра почти равномерно распределяется в течение года, в среднем приходится около 12 % на каждый из 8 румбов. Годовой ход скорости ветра практически отсутствует. Среднемесячная скорость ветра в течение года колеблется всего от 4,6 до 5,3 м/с. Наибольшие среднемесячные скорости ветра в холодные месяцы могут достигать 7–8 м/с. Измеренный максимум скорости ветра на дрейфующих станциях в околополюсном районе был отмечен в феврале и составил 25 м/с [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ НА ДРЕЙФУЮЩИХ СТАНЦИЯХ СП-32, 33, 34

Маршруты дрейфа станций СП-32 (2003/04 г.), СП-33 (2004/05 г.), СП-34 (2005/06 г.), а также дрейфа в 1895 г. судна «Фрам» показаны на рис. 1. Данные прямых наблюдений метеорологических параметров на дрейфующих станциях СП-32, 33, 34, а также на СП-1 и «Фраме» ниже сравниваются с величинами этих параметров, полученных по данным наблюдений на дрейфующих станциях с июня 1954 г. (СП-3) по май 1988 г. (СП-29) в районе к северу от 85° с.ш. Всего за этот период в околополюсном районе дрейфовала 21 станция с общей продолжительностью работы 242 месяца (табл. 1). Данные наблюдений на дрейфующих станциях с СП-1 по СП-31 опубликованы в [1, 9], а на судне «Фрам» – в [9].

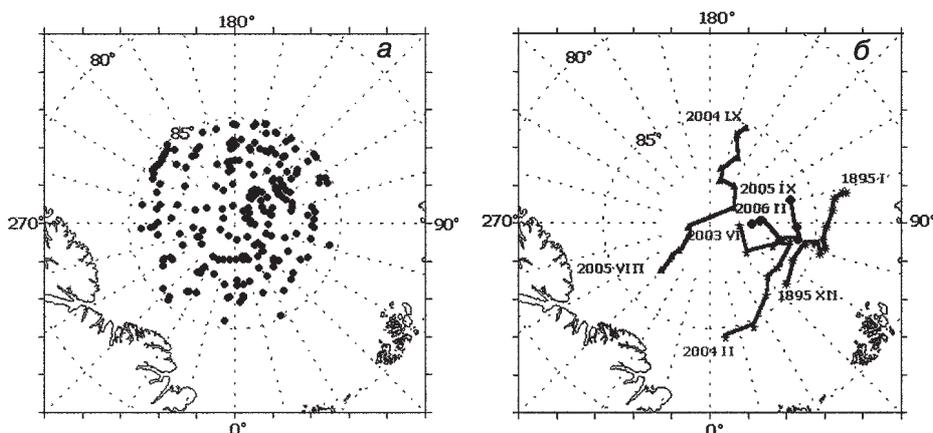


Рис. 1. Среднемесячное положение дрейфующих станций «Северный полюс» в околополюсном районе в 1954–1988 гг. (а). Маршрут дрейфа СП-32 в июне 2003 – феврале 2004 г., СП-33 в сентябре 2004 – августе 2005 г., СП-34 в сентябре 2005 – феврале 2006 г. и маршрут дрейфа корабля «Фрам» в 1895–1896 гг. (б)

Таблица 1

Периоды работы станций СП в околополюсном районе

Станция	Период работы севернее 85° с.ш.	Количество месяцев
СП-3	июнь 1954 – март 1955	10
СП-4	октябрь 1955 – март 1957	18
СП-5	октябрь 1955 – сентябрь 1956	12
СП-6	сентябрь 1958 – май 1959	9
СП-7	август 1957 – март 1959	20
СП-9	декабрь 1960 – февраль 1961	3
СП-10	ноябрь 1963 – апрель 1964	6
СП-13	август 1966 – март 1967	8
СП-15	август 1967 – февраль 1968	7
СП-16	август 1970 – февраль 1971	7
СП-17	август 1968 – сентябрь 1969	14
СП-18	июнь – октябрь 1971	5
СП-19	октябрь 1970 – март 1973	30
СП-21	январь – апрель 1974	4
СП-22	март 1981 – март 1982	13
СП-23	декабрь 1977 – ноябрь 1978	12
СП-24	январь – октябрь 1980	10
СП-25	июль 1982 – март 1984	21
СП-27	март 1986 – апрель 1987	14
СП-28	июль 1987 – декабрь 1988	17
СП-29	апрель – май 1988	2
Всего месяцев		242

По данным этих станций для околополюсного района севернее 85° с.ш. были получены среднемноголетние значения среднемесячной температуры воздуха, атмосферного давления, скорости ветра, месячных сумм осадков, а также их среднеквадратические отклонения и экстремумы (табл. 2). Приведенные здесь значения (нормы) температуры и давления и их среднеквадратические отклонения (СКО)

Таблица 2

Средние месячные значения температуры (T), давления (P), осадков (q) и скорости ветра (V), их среднеквадратические отклонения (σ), среднемесячные экстремумы и абсолютные экстремумы по данным срочных наблюдений (Абс. max и Абс. min) в области севернее 85° с.ш.

Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура воздуха, $^\circ\text{C}$												
T	-32,7	-34,8	-33,0	-25,6	-12,4	-2,7	-0,3	-1,8	-9,4	-19,5	-27,9	-30,7
σ_T	3,2	3,0	3,0	2,4	1,6	0,8	0,2	0,8	2,0	2,8	2,8	3,4
T_{max}	-26,5	-28,9	-28,7	-20,6	-9,5	-1,5	0,1	-0,6	-5,7	-14,1	-19,5	-20,0
T_{min}	-39,5	-39,8	-39,6	-29,0	-15,0	-4,4	-0,7	-3,5	-13,7	-23,7	-31,9	-37,0
Абс. max T	-1,2	-0,2	-4,5	-0,6	0,3	3,8	4,3	2,1	1,0	-0,2	-2,9	-1,3
Абс. min T	-51,9	-56,0	-50,4	-50,0	-27,3	-14,4	-5,1	-13,1	-32,5	-43,3	-47,3	-49,6
Атмосферное давление, гПа												
P	1016,7	1015,4	1015,7	1020,3	1019,8	1011,7	1009,6	1009,8	1009,9	1010,3	1017,7	1015,7
σ_P	6,6	6,9	8,8	5,6	4,9	5,5	3,7	4,3	3,7	5,4	5,9	6,1
P_{max}	1028,1	1027,3	1030,1	1027,2	1028,8	1021,2	1015,2	1018,2	1016,0	1024,9	1031,2	1027,5
P_{min}	1005,6	995,7	998,0	1004,4	1011,7	1004,1	1002,5	1001,6	1001,7	998,3	1009,8	1004,6
Абс. max P	1060,7	1047,6	1055,3	1052,7	1046,1	1034,1	1030,9	1034,8	1038,8	1036,9	1047,2	1052,2
Абс. min P	969,5	965,6	964,1	965,1	977,2	981,7	976,1	985,6	982,9	952,4	974,2	961,3
Осадки, мм												
q	11,3	10,1	11,6	8,2	8,1	10,8	20,5	22,8	23,2	18,6	11,9	9,9
σ_q	6,7	7,9	5,8	6,4	6,4	6,0	8,6	8,4	10,8	6,3	7,8	5,6
q_{max}	28,0	29,3	22,4	20,1	27,6	21,2	38,5	41,6	56,2	30,8	30,3	24,4
q_{min}	3,1	0,7	0,6	0,5	0,8	0,4	9,6	9,1	6,7	7,6	1,1	1,0
Суточный max	12,0	14,2	13,2	10,3	3,3	6,6	13,8	10,6	11,8	7,0	8,7	8,0
Скорость ветра, м/сек												
V	5,3	4,8	5,3	4,7	4,5	4,6	4,6	4,8	5,1	5,3	4,8	4,8
σ_V	1,0	1,1	0,8	0,8	0,9	0,8	0,7	0,9	0,9	1,2	0,8	1,1
V_{max}	7,4	6,4	7,5	6,4	5,8	6,0	5,7	7,0	6,8	7,3	6,6	7,1
V_{min}	3,1	2,7	3,6	2,8	2,7	3,0	3,4	3,6	3,4	2,2	3,1	2,9
V_{max} в срок	24	25	18	16	14	14	14	21	18	24	18	21

несколько отличаются от опубликованных ранее в [6]. Это связано с тем, что в [6] эти величины вычислялись по данным наблюдений только в районе дрейфа СП-32, а не для всей области севернее 85° с.ш., и с учетом данных СП-1.

Средние месячные значения температуры, их среднеквадратические отклонения и экстремальные величины за время дрейфа каждой из станций СП-32, 33, 34 приведены в табл. 3. В ней же для сравнения представлены эти же параметры, полученные по данным наблюдений во время дрейфа «Фрама».

Приведенные в табл. 3 величины свидетельствуют о существенном повышении температуры воздуха в приполюсной области за столетие со времени дрейфа «Фрама». Результаты наблюдений за температурой воздуха на дрейфующих станциях СП-32, 33 и 34 и сопоставление их с многолетней нормой в районе дрейфа станций (см. табл. 2) также свидетельствуют о потеплении в околополюсном районе Центрального Арктического бассейна и за последние десятилетия.

Величины аномалий среднемесячной температуры воздуха относительно нормы за 1954–1988 гг. и их нормированные на стандартное отклонение значения на дрейфовавших в 2003–2006 гг. станциях «Северный полюс» приведены в таблице 4. Аномалии в большинстве случаев положительны. Наиболее крупные аномалии (более 3σ) были отмечены в мае 2005 г. на СП-33 и в январе 2006 г. на СП-34. 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, что также сказалось на температурных условиях околополюсного района. Здесь же в табли-

Таблица 3

Средние месячные значения температуры (T), их среднеквадратические отклонения (σ_T) и наибольшие (T_{max}) и наименьшие (T_{min}) температуры, измеренные в синоптические сроки, в периоды дрейфа СП-32, 33, 34 и судна «Фрам»

Год	Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
СП-32													
2003	T , °C	–	–	–	–	–	–1,6	–0,1	–0,9	–6,1	–18,3	–22,7	–33,2
	σ_T , °C	–	–	–	–	–	2,1	0,8	1,7	3,7	5,2	7,0	4,6
	T_{max} , °C	–	–	–	–	–	1,1	2,4	2,1	0,0	–8,8	–4,6	–24,5
	T_{min} , °C	–	–	–	–	–	–9,0	–2,5	–6,5	–20,4	–31,9	–35,2	–42,4
2004	T , °C	–31,7	–32,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	σ_T , °C	6,9	6,7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	T_{max} , °C	–22,0	–13,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	T_{min} , °C	–42,8	–42,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
СП-33													
2004	T , °C	–	–	–	–	–	–	–	–	–9,6	–17,2	–27,7	–26,6
	σ_T , °C	–	–	–	–	–	–	–	–	4,8	7,1	5,9	6,7
	T_{max} , °C	–	–	–	–	–	–	–	–	–0,3	–2,8	–15,3	–11,7
	T_{min} , °C	–	–	–	–	–	–	–	–	–23,4	–33,9	–39,9	–38,2
2005	T , °C	–26,8	–28,7	–34,3	–24,2	–6,9	–1,4	0,0	–2,0	–	–	–	–
	σ_T , °C	6,3	4,8	5,8	6,3	4,4	1,4	0,5	2,1	–	–	–	–
	T_{max} , °C	–5,5	–16,8	–18,6	–12,1	0,7	1,0	0,8	1,2	–	–	–	–
	T_{min} , °C	–40,4	–38,5	–45,2	–37,0	–19,5	–5,0	–1,6	–9,0	–	–	–	–
СП-34													
2005	T , °C	–	–	–	–	–	–	–	–	–7,1	–16,1	–25,4	–22,9
	σ_T , °C	–	–	–	–	–	–	–	–	4,4	5,9	6,1	7,6
	T_{max} , °C	–	–	–	–	–	–	–	–	–2,3	–3,5	–10,5	–5,4
	T_{min} , °C	–	–	–	–	–	–	–	–	–19,2	–32,8	–34,4	–35,7
2006	T , °C	–16,6	–31,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	σ_T , °C	9,1	6,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	T_{max} , °C	–0,8	–18,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	T_{min} , °C	–34,1	–41,7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
«Фрам»													
1895	T , °C	–33,4	–37,0	–34,7	–28,2	–12,0	–1,9	–0,1	–2,3	–9,7	–21,4	–31,3	–32,8
	σ_T , °C	7,9	5,2	4,4	2,9	4,6	2,3	0,7	1,7	6,8	5,0	6,3	5,6
	T_{max} , °C	–12,0	–21,4	–22,3	–20,2	–4,2	1,1	1,7	1,2	0,6	–11,5	–13,0	–19,4
	T_{min} , °C	–50,1	–45,8	–41,8	–38,4	–23,2	–9,2	–2,2	–6,9	–25,6	–30,2	–43,8	–45,4

Примечание: Для СП-33 и СП-34 средние значения в сентябре рассчитаны за период с 10 по 30 и с 19 по 30 сентября соответственно.

це 4 приведены аномалии среднемесячных температур воздуха, полученных во время дрейфа корабля «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 1σ . Сопоставление наблюдений на «Фраме» с наблюдениями на дрейфующих станциях в 1950–1990-х гг. и в первой половине 2000-х гг. позволяет сказать 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 [4]. Вместе с тем следует отметить появление новых, существенно увеличенных относительно нормы, значений среднемесячных температур воздуха в околополюсном районе по данным наблюдений в феврале и мае–июне 2005 г. на СП-33 и в январе 2006 г. на СП-34 (см. табл. 3 и 4).

Таблица 4

Аномалии (ΔT) и нормированные аномалии ($\Delta T/\sigma$) среднемесячной температуры воздуха на дрейфующих станциях СП-32, 33, 34 и судне «Фрам»

Год	Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
СП-32													
2003	$\Delta T, ^\circ\text{C}$						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	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	1,0	2,2										
	$\Delta T/\sigma$	0,3	0,7										
СП-33													
2004	$\Delta T, ^\circ\text{C}$									-0,2	2,3	0,2	4,1
	$\Delta T/\sigma$									-0,1	0,8	0,1	1,2
2005	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	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	$\Delta T, ^\circ\text{C}$									2,3	3,4	2,5	7,8
	$\Delta T/\sigma$									1,1	1,2	0,9	2,3
2006	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	16,1	3,6										
	$\Delta T/\sigma$	5,0	1,2										
«Фрам»													
1895	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	-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 относительные аномалии, превышающие удвоенное стандартное отклонение.

Представляется интересным реконструировать температурный ряд в околополюсном районе в промежутке между 1988 г. (последние наблюдения на дрейфующих станциях непосредственно к северу от 85° с.ш.) и вновь появившимися наблюдениями в этом районе в 2003–2006 гг. Надо отметить, что в околополюсном районе станции «Северный полюс» дрейфовали не каждый год. Так, например, полностью отсутствуют данные наблюдений в этом районе за 1960, 1962, 1965, 1975–1977, 1979 и 1985 гг. Для восстановления отсутствующих данных использована методика З.М.Прик обработки данных на дрейфующих станциях и приведения их к многолетнему периоду с использованием данных опорных станций [5]. Средние координаты группы дрейфовавших севернее 85° с.ш. станций были условно отнесены к полюсу. В качестве опорных станций были взяты Норд, Алерт, Исаксен, Моулд-Бей, Рудольфа, Визе, Котельный. Данные с этих станций были использованы для восстановления пропусков в рядах температуры следующим образом. Были построены карты аномалий температуры воздуха в околополюсном районе по данным опорных станций и всех дрейфующих станций. Аномалии рассчитывались относительно средних многолетних значений для каждого из месяцев за период 1954–1988 гг. по данным как опорных станций, так и станций, дрейфовавших севернее 85° с.ш. С построенных карт снимались значения аномалий в точке полюса в те

Таблица 5

Величины средних (X_1) и среднеквадратических отклонений (σ_1) исходного ряда температуры и средних (X_2) и среднеквадратических отклонений (σ_2) ряда с восстановленными значениями

Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$X_1, ^\circ\text{C}$	-32,0	-36,2	-34,0	-27,8	-12,8	-2,7	-0,4	-1,9	-8,0	-19,5	-26,6	-30,7
$\sigma_1, ^\circ\text{C}$	3,2	3,0	3,0	2,4	1,6	0,8	0,2	0,8	2,0	2,8	2,8	3,4
$X_2, ^\circ\text{C}$	-32,1	-36,4	-34,4	-27,6	-13,3	-2,7	-0,4	-1,9	-8,1	-19,6	-26,3	-30,8
$\sigma_2, ^\circ\text{C}$	2,9	2,7	2,8	2,0	1,3	0,8	0,4	0,6	1,6	2,1	2,6	2,7
$X_1 - X_2, ^\circ\text{C}$	0,1	0,3	0,4	-0,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	-0,3	0,1

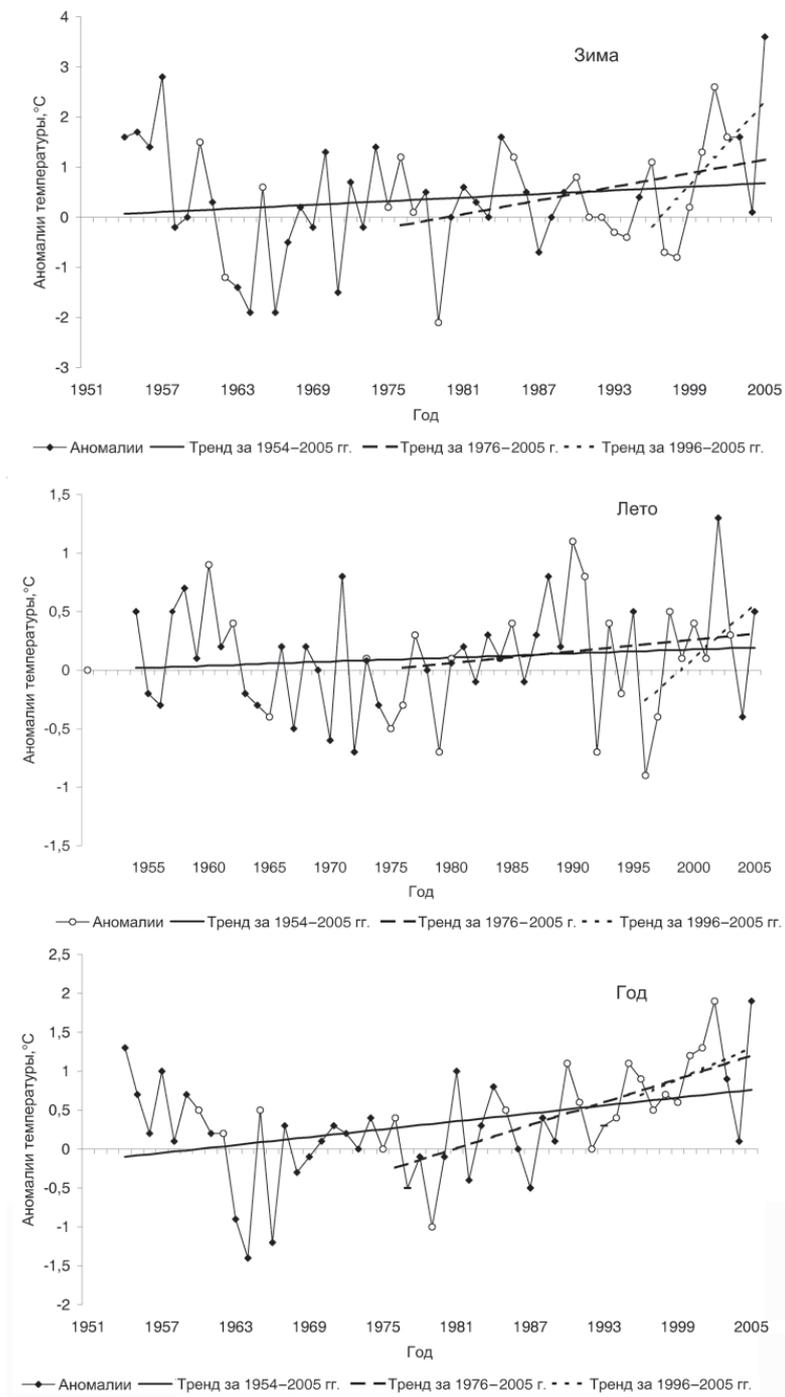


Рис. 2. Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха и температуры отдельных сезонов в околополюсном районе

месяцы, в которые не было измерений в околополюсной области. К этим значениям прибавлялась норма этого месяца, рассчитанная по данным наблюдений на дрейфующих станциях в околополюсном районе. Полученное значение принималось в качестве восстановленного. Качество восстановления можно оценить по данным, приведенным в табл. 5. В ней представлены средние многолетние значения среднемесячных температур и их СКО для исходного ряда температуры и для ряда, полученного после восстановления отсутствующих значений.

Различия между средними многолетними значениями температур в исходном и пополненном рядах в целом на порядок меньше их дисперсий в каждый из месяцев.

Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха и средних температур зимнего и летнего сезонов (с учетом восстановленных значений) для территории околополюсного района представлены на рис. 2. В межгодовых изменениях среднегодовой температуры наблюдалось ее понижение до середины 1960-х гг. и рост в последующие годы. Наиболее низкая среднегодовая температура воздуха наблюдалась в 1964 г. Аномалия тогда была $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-2,4\sigma$). Наиболее высокая – в 2002 и 2005 г. с аномалией $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($3,2\sigma$). В холодном сезоне можно выделить три ветви понижения температуры: 1956–1966, 1974–1979 и 1984–1998 гг. Наиболее низкая температура воздуха с аномалией $-2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-2,1\sigma$) наблюдалась в 1979 г., наиболее высокая аномалия в 2005 г. составила $3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($3,6\sigma$). В летние месяцы межгодовая изменчивость средней температуры была существенно меньше, чем зимой и в целом за год.

Величины параметров линейного тренда средних за год, за зимний и летний сезоны температур с 1954 по 2005 г., а также за последние 30 и 10 лет представлены в табл. 6. За период 1954–2005 гг. значение линейного тренда среднегодовой температуры воздуха района статистически значимо. Тренд роста среднегодовой температуры составляет около $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет (увеличение примерно на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 52 года). Статистически значимые линейные тренды присутствуют в изменениях температуры переходных сезонов. Более всего с 1954 г. выросла температура весеннего сезона, примерно на $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 52 года.

За последние 30 лет статистически значимый линейный тренд присутствует во всех сезонах, кроме летнего, и в целом за год. Рост среднегодовой температуры с 1976 г. составил $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Самый большой тренд отмечен в изменениях температуры осеннего сезона – около $2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 30 лет. Наличие значительных положительных трендов зимней и осенней температур связано с их возрастанием в последние годы.

Таблица 6

Параметры линейного тренда средней за сезон и среднегодовой температуры воздуха в околополюсном районе

Период	Параметр	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
1954–2005 гг.	$B_s, \text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет	0,12	0,33	0,04	0,19	0,17
	$D, \%$	15,4	46,8	10,8	25,4	37,8
	$P, \%$	–	99	–	95	99
1976–2005 гг.	$B_s, \text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет	0,45	0,67	0,09	0,72	0,50
	$D, \%$	36,6	53,8	17,2	53,9	64,7
	$P, \%$	95	99	–	99	99
1996–2005 гг.	$B_s, \text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет	2,76	-1,64	0,90	0,60	0,68
	$D, \%$	60,0	60,2	44,7	22,0	35,1
	$P, \%$	95	95	–	–	–

Примечание: B_s – коэффициент линейного тренда; D – величина дисперсии, выбираемой линейным трендом; P – доверительная вероятность (приводится, если P превышает 90 %).

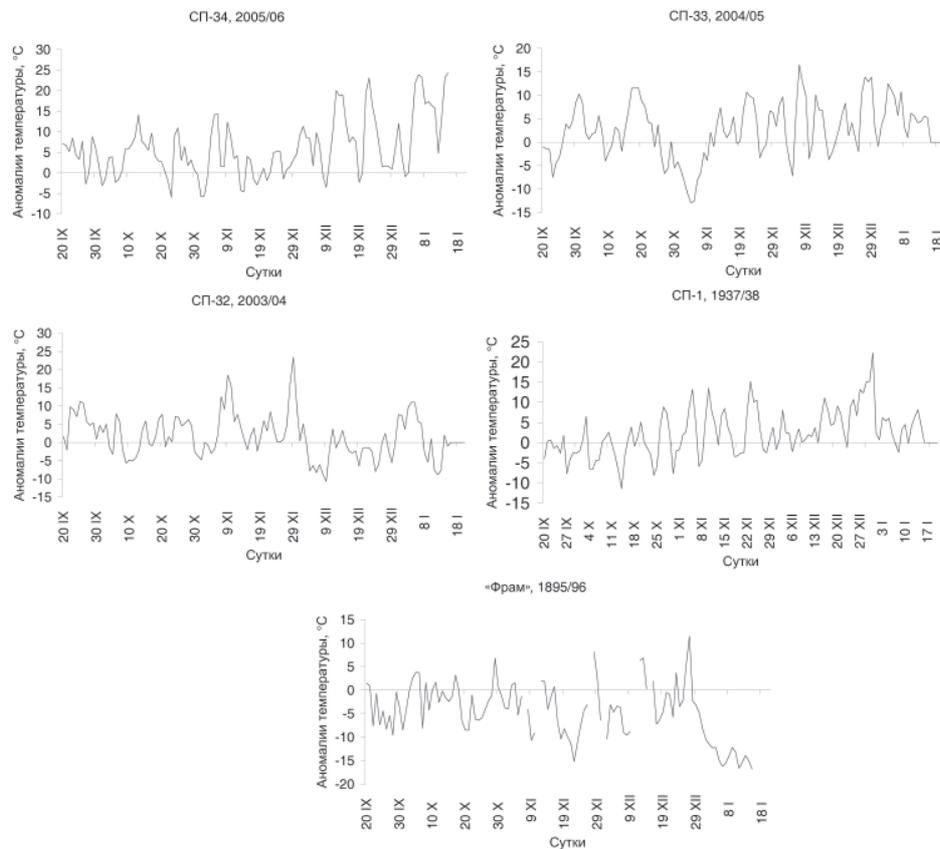


Рис. 3. Аномалии среднесуточной температуры воздуха с 20 сентября по 15 января на СП-1 (1937/38 г.), СП-32 (2003/04 г.), СП-33 (2004/05 г.), СП-34 (2005/06 г.) и «Фраме» (1895 г.)

Оценки спектральной плотности временных рядов температуры воздуха за период 1954–2005 гг. в околополюсном районе показали наличие долгопериодной составляющей в среднегодовой температуре и температуре зимнего сезона, а также позволили выделить характерные периоды колебаний. В межгодовой изменчивости среднегодовой температуры воздуха выделяются колебания с периодом около 5 лет и 2 года, в зимней температуре – колебания с периодом 4 и 2 года, в летней – 10 лет и 2 года.

Насколько многолетняя тенденция потепления в Центральном Арктическом бассейне проявилась в околополюсном районе, можно представить по приведенным на рис. 3 данным.

На нем показаны временные ряды аномалий среднесуточной температуры воздуха на станциях СП-1, 32, 33, 34 и судне «Фрам» в осенний и начале зимнего сезона. Многолетние нормы среднесуточных температур вычислены по данным срочных наблюдений на станциях СП, дрейфовавших в 1954–1988 гг. севернее 85° с.ш. Выбор представленного на рисунке четырехмесячного периода года связан с периодами наблюдений на дрейфующих станциях СП-32, 33, 34 и желанием максимально полно представить результаты измерений в совпадающие интервалы года. Кроме того, в работе [6] было показано, что с июня (начало дрейфа СП-32)

Таблица 7

Измеренные (q) и исправленные (q_{corr}) месячные суммы осадков и их суточные максимумы ($\max q$, $\max q_{corr}$) в периоды дрейфа СП-32, 33, 34

Год	Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
СП-32													
2003	q , мм	–	–	–	–	–	48,8	36,4	40,3	41,8	21,4	31,9	2,1
	q_{corr} , мм	–	–	–	–	–	33,4	40,2	45,6	33,5	23,6	19,3	2,9
	$\max q$, мм	–	–	–	–	–	12,0	4,6	4,0	6,0	4,0	6,0	0,7
	$\max q_{corr}$, мм	–	–	–	–	–	18,0	5,6	4,8	7,8	5,9	6,4	1,2
2004	q , мм	18,1	35,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	q_{corr} , мм	21,2	17,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	$\max q$, мм	7,0	12,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	$\max q_{corr}$, мм	3,6	4,7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
СП-33													
2004	q , мм	–	–	–	–	–	–	–	–	–	11,4	4,9	25,8
	q_{corr} , мм	–	–	–	–	–	–	–	–	–	16,0	7,8	15,7
	$\max q$, мм	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3,3	2,3	5,0
	$\max q_{corr}$, мм	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6,3	3,4	4,8
2005	q , мм	26,0	24,4	5,1	9,2	10,1	7,5	22,3	13,0	–	–	–	–
	q_{corr} , мм	15,7	13,4	6,6	14,0	16,2	10,2	26,1	15,5	–	–	–	–
	$\max q$, мм	7,0	9,0	3,0	3,0	2,0	3,0	5,0	2,6	–	–	–	–
	$\max q_{corr}$, мм	3,5	4,1	6,2	4,8	2,6	5,9	6,1	3,4	–	–	–	–
СП-34													
2005	q , мм	–	–	–	–	–	–	–	–	5,0*	14,7	2,5	13,4
	q_{corr} , мм	–	–	–	–	–	–	–	–	6,5	10,3	3,3	18,6
	$\max q$, мм	–	–	–	–	–	–	–	–	3,0	6,0	1,2	3,7
	$\max q_{corr}$, мм	–	–	–	–	–	–	–	–	5,5	8,4	2,5	7,7
2006	q , мм	39,7	9,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	q_{corr} , мм	21,8	11,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	$\max q$, мм	6,7	3,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	$\max q_{corr}$, мм	3,8	2,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечания: выделены значения, превышающие многолетние нормы месячных сумм осадков, и величины суточных сумм, превысившие прежние суточные максимумы осадков; * – для СП-34 сумма осадков в сентябре рассчитана за период с 19 по 30 сентября.

по конец августа наблюдается достаточно гладкий ход и хорошее совпадение среднесуточных температур, измеренных на СП-32 в 2003 г. и «Фраме» в 1895 г., с их многолетними нормами. Наибольшие расхождения с многолетними нормами начались со второй половины сентября.

Основной особенностью представленных на рис. 3 данных за рассматриваемый интервал года является превалирование числа положительных аномалий температуры над количеством отрицательных на СП-32, 33 и 34, как это было и на СП-1 в 1937 г. в период т.н. потепления Арктики. Особенно крупные аномалии, достигавшие 15–20 °С, отмечены в декабре 2005 – в первой половине января 2006 г. В этот промежуток среднесуточные температуры воздуха на СП-34 составляли около –5 °С. Среднемесячная температура воздуха в январе 2006 г. оказалась наиболее высокой за весь период инструментальных наблюдений в околорегулярном районе (–16,6 °С при норме –32,7 °С, среднемесячные координаты: 87,63° с.ш., 93,43° в.д.).

На «Фраме» в 1895 г. аномалии среднесуточных температур были по величине в целом меньше и до начала января их положительные и отрицательные значения чередовались более равномерно, чем на дрейфующих станциях.

Преобладание положительных аномалий температуры в околорегулярной зоне в осенне-зимние сезоны последних лет соответствует характеристикам поля температуры во всей области, расположенной севернее 60° с.ш. В 2005 г. положительная аномалия среднегодовой температуры воздуха в зоне севернее 60° с.ш., рассчитанная

относительно нормы за 1961–1990 гг., составила $3,5\sigma$, что соответствует $1,8^\circ\text{C}$. Наибольшие аномалии температуры наблюдались в летний и осенний сезоны. Летний сезон стал самым теплым за весь период инструментальных наблюдений. Аномалия средней за лето температуры составила $3,3\sigma$ ($1,2^\circ\text{C}$), а осенью – $3,6\sigma$ ($2,5^\circ\text{C}$) [3].

Характеристики осадков приведены в табл. 7. В ней представлены не только измеренные, но и исправленные суммы осадков и их суточные максимумы в каждый из месяцев. Коррекция месячных сумм осадков выполнена по методике Н.Н.Брызгина, опубликованной в работе [8]. Корректировка максимальных значений суточных сумм осадков проведена Н.Н.Брызгиным по его авторской методике, пока не опубликованной.

В течение почти всего цикла наблюдений на СП-32 характерным было частое выпадение осадков. С июня по сентябрь в каждый из месяцев наблюдалось более 20 дней с осадками. В июле–августе выпадали в основном жидкие осадки, а начиная с сентября преимущественно твердые осадки. Месячные суммы осадков (скорректированные значения) с июня по сентябрь 2003 г. от 1,5 до 3 раз превышали многолетние нормы [6]. По данным специалистов отдела долгосрочных метеорологических прогнозов ААНИИ, в 2003 г. с июня по октябрь в районе дрейфа СП-32 преобладал циклонический режим погоды. Повышенная повторяемость циклонов могла способствовать более частому выпадению осадков. В последующие годы в анализируемые месяцы месячные суммы осадков тоже превышали нормы, но уже не столь

Таблица 8

Средние месячные значения давления (P), их среднеквадратические отклонения (σ_p), наибольшие (P_{max}) и наименьшие (P_{min}) величины давления, измеренные в синоптические сроки, в периоды дрейфа СП-32, 33, 34

Год	Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
СП-32													
2003	P , гПа	–	–	–	–	–	1011,7	1008,7	1007,8	1003,1	1019,5	1014,5	1006,5
	σ_p , гПа	–	–	–	–	–	7,3	7,1	8,2	10,3	8,9	10,0	12,2
	P_{max} , гПа	–	–	–	–	–	1023,8	1021,4	1022,5	1019,5	1040,7	1029,9	1025,1
	P_{min} , гПа	–	–	–	–	–	992,6	991,3	987,4	974,7	999,6	985,7	985,2
2004	P , гПа	1016,9	1018,7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	σ_p , гПа	9,0	11,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	P_{max} , гПа	1034,8	1042,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	P_{min} , гПа	999,7	986,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
СП-33													
2004	P , гПа	–	–	–	–	–	–	–	–	1013,6	1015,0	1016,2	1010,2
	σ_p , гПа	–	–	–	–	–	–	–	–	6,4	9,8	7,4	7,9
	P_{max} , гПа	–	–	–	–	–	–	–	–	1010,7	1031,2	1033,2	1027,1
	P_{min} , гПа	–	–	–	–	–	–	–	–	998,7	996,3	1004,1	991,4
2005	P , гПа	1012,1	1013,3	1020,8	1020,6	1020,0	1016,8	1009,0	1011,7	–	–	–	–
	σ_p , гПа	11,1	14,8	10,4	11,6	7,4	6,6	7,6	9,6	–	–	–	–
	P_{max} , гПа	1036,2	1043,1	1043,6	1046,0	1031,9	1029,1	1024,8	1027,4	–	–	–	–
	P_{min} , гПа	982,7	986,5	994,5	1003,1	1002,6	1003,1	993,1	993,4	–	–	–	–
СП-34													
2005	P , гПа	–	–	–	–	–	–	–	–	1000,4	1003,6	1018,9	1017,1
	σ_p , гПа	–	–	–	–	–	–	–	–	3,1	12,7	7,9	8,5
	P_{max} , гПа	–	–	–	–	–	–	–	–	1006,2	1029,0	1036,6	1037,2
	P_{min} , гПа	–	–	–	–	–	–	–	–	993,4	976,3	998,9	995,0
2006	P , гПа	1008,0	1012,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	σ_p , гПа	7,7	12,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	P_{max} , гПа	1022,7	1028,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	P_{min} , гПа	989,0	986,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание: для СП-33 и СП-34 среднее значение в сентябре рассчитано за период с 10 по 30 и с 19 по 30 сентября соответственно.

значительно, как на СП-32. Следует отметить и то обстоятельство, что даже превосходящие норму месячные суммы осадков на последних трех дрейфующих станциях не превысили ранее измеренные максимальные месячные суммы (см. табл. 2).

В июне 2003 г. был превышен прежний максимум суточных сумм осадков 6,6 мм, отмеченный в 1988 г. на СП-28. И был зафиксирован еще один суточный максимум осадков в октябре 2005 г. на СП-34, составивший 8,4 мм (скорректированное значение).

Из характерных особенностей поля давления в приполюсном районе следует отметить существенно большую его изменчивость в каждый из месяцев по сравнению с многолетними нормами (табл. 8).

Но зарегистрированные в синоптические сроки на станциях СП-32, 33, 34 экстремальные значения давления ни разу не вышли за пределы зафиксированных ранее его абсолютных максимумов и минимумов.

В табл. 9 приведены характеристики ветра, вычисленные по данным измерений на этих же станциях.

Для СП-33 и СП-34 среднее значение в сентябре рассчитано за период с 10 по 30 и с 19 по 30 сентября соответственно

По сравнению с данными предшествующих наблюдений в Центральном Арктическом бассейне, как и для поля давления, существенно возросла изменчивость скоростей ветра. Впрочем, это может быть связано и с тем, что СКО от среднемесячных значений метеорологических параметров на дрейфующих станциях определяются в основном их межсуточной изменчивостью, связанной с синоптическими процессами. Для средних многолетних значений (нормы) величина СКО связана, в первую очередь, с межгодовой изменчивостью метеорологических параметров.

Значения же среднемесячных скоростей ветра, за некоторыми исключениями, в целом мало отличаются от многолетних норм. Новый, значительно превы-

Таблица 9

Средние месячные значения скорости ветра (V), их среднеквадратические отклонения (σ) и наибольшие скорости ветра (V_{max}), измеренные в синоптические сроки наблюдений, в периоды дрейфа СП-32, 33, 34

Год	Параметр	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
СП-32													
2003	V , м/сек	–	–	–	–	–	5,5	5,3	6,3	5,3	4,1	4,1	4,8
	σ_{12} , м/сек	–	–	–	–	–	2,5	2,2	1,5	3,1	2,6	2,5	1,8
	V_{max} , м/сек	–	–	–	–	–	12,0	13,0	12,0	19,0	13,0	13,0	15,0
2004	V , м/сек	4,3	4,7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	σ_{12} , м/сек	2,4	4,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	V_{max} , м/сек	13,0	20,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
СП-33													
2004	V , м/сек	–	–	–	–	–	–	–	–	4,3	4,2	4,8	6,9
	σ_{12} , м/сек	–	–	–	–	–	–	–	–	1,8	2,4	2,4	3,1
	V_{max} , м/сек	–	–	–	–	–	–	–	–	9,0	10,0	13,0	13,0
2005	V , м/сек	5,5	5,8	4,0	5,3	5,8	3,9	4,3	3,8	–	–	–	–
	σ_{12} , м/сек	3,4	3,5	2,0	2,3	2,6	1,6	1,9	1,7	–	–	–	–
	V_{max} , м/сек	16,0	15,0	11,0	12,0	15,0	9,0	9,0	7,0	–	–	–	–
СП-34													
2005	V , м/сек	–	–	–	–	–	–	–	–	5,9	5,1	4,3	5,7
	σ_{12} , м/сек	–	–	–	–	–	–	–	–	3,8	2,6	2,8	3,2
	V_{max} , м/сек	–	–	–	–	–	–	–	–	17,0	13,0	17,0	17,0
2006	V , м/сек	9,1	5,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	σ_{12} , м/сек	4,5	3,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	V_{max} , м/сек	20,0	18,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание: выделены скорости, превышающие норму.

шающий прежние, среднемесячный максимум скорости ветра отмечен в январе 2006 г. — 9,1 м/с (табл. 9). В этот месяц наблюдалась высокая степень аномальности развития атмосферных процессов. Погода в районе дрейфа СП-34 формировалась под влиянием устойчивого антициклона над континентальной частью Евразии и глубоких североатлантических циклонов, сериями проникавших в Центральный Арктический бассейн. Это приводило к усилению ветра до штормовых скоростей во второй и третьей декадах января. Наблюденная максимальная скорость ветра в срок наблюдения в этот месяц составила 20 м/с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты метеорологических наблюдений, выполненных на судне «Фрам» в 1895–1996 гг., затем через сорок с небольшим лет на дрейфующей станции СП-1 в 1937/38 г. и вновь на СП-2 в 1950/51 г., далее систематически проводившихся на различных дрейфующих станциях в 1954–1991 гг. и, наконец, данные возобновленных наблюдений на СП-32, 33 и 34 характеризуют и детализируют картину климатических изменений в Центральном Арктическом бассейне. Климатические условия, в которых протекал дрейф «Фрама», значительно отличались от условий, характерных для периода дрейфа СП-1. Через 40 лет после норвежской экспедиции в Арктике существенно потеплело. Как мы знаем сейчас, быстрый рост температуры воздуха в северной полярной области в течение 1920–1930-х гг. достиг максимума во второй половине 1930-х гг., а после 1943 г. сменился на быстрое ее понижение до середины 1960-х гг. Начиная с середины 1960-х гг., среднегодовая температура приземного воздуха в северной полярной области вновь возрастала. За весь период с 1936 г. в области, расположенной севернее 60° с.ш., более половины случаев с аномалиями среднегодовой температуры воздуха, превышающими удвоенное среднеквадратическое отклонение от нормы, вычисленной для периода 1961–1990 гг., приходится на отрезок времени после 1995 г. [6].

Результаты систематических метеорологических наблюдений, возобновленных на дрейфующих станциях СП-32, 33, 34 после двенадцатилетнего перерыва, инструментально подтвердили, что в Центральной Арктике все еще продолжается потепление атмосферы, начавшееся в середине 1960-х гг. Оно привело к тому, что в 2005 г. аномалия среднегодовой температуры воздуха, рассчитанная с учетом данных наблюдений, возобновленных на дрейфующих станциях, относительно нормы за 1961–1990 гг., в широтной зоне 60–85° с.ш. оказалась наибольшей за весь период инструментальных метеорологических наблюдений в Арктике: 1,8 °С (3,5σ). Другими словами, в 2005 г. среднегодовая температура воздуха в Арктике превысила значения, наблюдавшиеся в период потепления 1930-х гг.

Статья подготовлена в рамках работ по ЦНТП-3 Росгидромета, подпрограмма «Исследования климата и его изменений. Оценка гидрометеорологического режима и климатических ресурсов».

Авторы благодарны коллективам дрейфующих станций СП-32, 33 и 34, работа которых обеспечила получение анализируемых в статье метеорологических данных, а также В.В.Иванову за описание синоптических ситуаций в различные периоды работы дрейфующих станций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Е.И., Брызгин Н.Н., Дементьев А.А. Метеорологический режим Арктического бассейна (по данным дрейфующих станций). Т. 1. СПб.: Гидрометеоиздат, 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. 2. Климат приледного слоя атмосферы Арктического бассейна. СПб.: Гидрометеиздат, 2004. 144 с.
3. 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.
4. Мелешко В.П., Голицын Г.С., Говоркова В.А. и др. Возможные антропогенные изменения климата России в XXI веке: оценки по ансамблю климатических моделей // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 38–49.
5. Прик З.М. Климатическая обработка метеорологических наблюдений, произведенных на дрейфующих станциях // Тр. ААНИИ. 1974. Т. 328. С. 4–21.
6. 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.
7. Радионов В.Ф., Брызгин Н.Н., Александров Е.И. Снежный покров в Арктическом бассейне. СПб.: Гидрометеиздат, 1996. 124 с.
8. 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.
9. 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.

V.F.RADIONOV, YE.I.ALEKSANDROV, N.N.BRYAZGIN

METEOROLOGICAL CONDITIONS IN CIRCUMPOLAR AREA
OF THE ARCTIC OCEAN
(RESULTS FROM THE DRIFTING STATIONS «NORTH POLE-32, 33, 34»)

New information on meteorological conditions in the central part of the Arctic Basin is presented. These results are received on the base of regular meteorological observations at drifting stations «North Pole-32, 33, 34» in 2003–2006. New data are compared with regime parameters of previous decades, and with the data observed in circumpolar area 100 years ago during the drift of vessel «Fram». Results of meteorological observations at these drifting stations confirmed, that now in the Central Arctic Basin air temperature is higher in comparison with air temperature in previous decades. This increase of temperature started in the middle of 1960th and now temperature increasing is comparable with warming of the Arctic in 1930th.