

СЕВЕРНАЯ ПОЛЯРНАЯ ОБЛАСТЬ

Мониторинг климата приземной атмосферы Северной полярной области (СПО) ведется как для области в целом, так и для отдельных ее частей (рис. 1) на основе постоянно пополняемой базы приземных метеорологических данных для полярных районов (<http://www.aari.ru>). Ниже приводятся оценки изменения температуры воздуха и количества осадков СПО за период 1936–2019 гг.

Исходными данными послужили данные наблюдений 250 стационарных метеорологических станций, а также данные, поступающие с дрейфующих буев МПАБ.

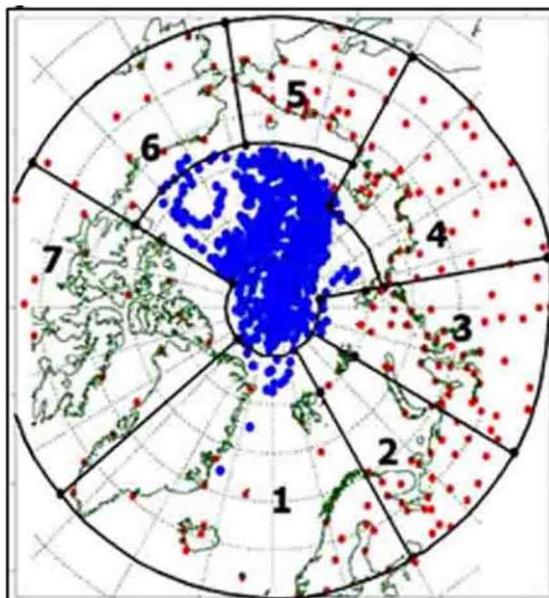


Рисунок 1 – Положение метеорологических станций (красные точки), дрейфующих станций и буев (синие точки) в СПО и границы рассматриваемых районов:

1 – Атлантический; 2 – Североευропейский; 3 – Западносибирский; 4 – Восточносибирский; 5 – Чукотский; 6 – Аляскинский; 7 – Канадский

Температура воздуха. Для расчета аномалий температуры воздуха, осредненных по территории СПО и территориям климатических районов использован метод оптимального осреднения. Оценки аномалий получены относительно рекомендованного ВМО стандартного базового периода 1961-1990 гг. В качестве сезонов рассматривались: зима (декабрь-февраль), весна (март-май), лето (июнь-август) и осень (сентябрь-ноябрь). За год принимался период с декабря предыдущего года по ноябрь рассматриваемого.

Оценка аномалий средних сезонных и среднегодовой температуры воздуха за 2019 г. по отдельным широтным зонам (70–85, 60–70 и 60–85° с.ш.) представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Аномалии температуры воздуха в 2019 г., осредненные по территории СПО и по широтным зонам, в среднем за год (декабрь 2018- ноябрь 2019) и за сезоны: ΔT , °C – отклонения от средних за 1961-1990; R – ранг в ряду убывающих температур за 1936-2019 гг.

Широтная зона, °с.ш.	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	ΔT	R								
70-85	3,4	2	3,5	4	4,1	1	1,9	2	4,0	2
60-70	2,4	2	2,6	4	3,6	1	1,6	2	2,0	4

60-85	2,8	2	3,0	4	3,8	1	1,7	2	2,9	2
-------	-----	---	-----	---	-----	---	-----	---	-----	---

Значение пространственно осредненной аномалии среднегодовой температуры воздуха СПО составило 2,8 °С, и 2019 г. стал вторым теплым годом по рангу теплых лет за период с 1936 г. Аномалия среднегодовой температуры воздуха в широтной зоне 70-85° с.ш. оказалась равной 3,4 °С, а в зоне 60-70° с.ш. – 2,4 °С. Эти значения стали также вторыми в ряду убывающих температур.

Пространственное распределение аномалий среднегодовой и средних сезонных температур воздуха на территории СПО приведено на рисунке 2. Числовые значения регионально осредненных аномалий температуры, наблюдавшихся в 2019 году, по отдельным климатическим районам СПО приведены в таблице 2. Более подробные данные для северных и южных частей районов см. на сайте <http://www.aari.ru/main.php>

Таблица 2 – Аномалии температуры воздуха в 2019 г. (отклонение от нормы за 1961-1990 гг.) для отдельных районов СПО (в среднем за год и сезоны), °С

Климатический район СПО	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	<i>ΔT</i>	<i>R</i>								
Атлантический	1,6	6	2,0	13	1,6	8	1,5	3	1,2	11
Североевропейский	1,8	10	3,2	16	2,8	7	0,0	20	1,0	18
Западносибирский	3,1	4	3,4	14	4,5	6	1,7	4	2,6	8
Восточносибирский	3,6	1	4,1	2	4,2	4	2,9	1	3,1	4
Чукотский	3,3	2	1,5	16	4,8	2	2,7	2	4,0	5
Аляскинский	4,3	1	5,1	4	5,8	1	1,9	2	4,3	1
Канадский район	2,6	3	1,8	13	3,2	3	1,7	5	3,8	1
Канадский район (северная часть)	3,0	2	1,6	15	3,3	4	2,3	2	4,8	1
Гренландское и Норвежское моря (северная часть)	2,1	9	2,4	16	1,8	10	1,9	4	2,2	9
Баренцево море	2,2	11	3,9	16	3,0	7	0,2	18	1,6	15
Карское море	3,8	6	4,7	15	4,8	8	1,6	6	4,0	10
Море Лаптевых	3,9	1	3,4	7	4,4	7	3,2	1	4,7	3
Восточно-Сибирское море	3,3	2	1,4	15	4,4	4	3,1	2	4,5	5
Чукотское море	4,3	2	3,1	9	5,7	1	3,2	2	5,1	3
Море Бофорта	4,5	1	6,2	2	6,2	1	0,2	19	5,5	2

Можно видеть, что в 2019 г. году области крупных положительных аномалий температуры располагались преимущественно в восточной части евразийского сектора и в западной части североамериканского сектора. Самые крупные аномалии наблюдались на территории Восточносибирского и Аляскинского районов. Значения пространственно осредненных по территории районов аномалий среднегодовой температуры воздуха составили соответственно 3,6 и 4,3 °С. Это соответствует первому значению по рангу теплых лет за период 1936 г.

Временные ряды пространственно осредненных аномалий среднегодовой температуры воздуха для районов широтной зоны 60-85° с.ш. и их линейные тренды за весь

период с 1936 года, за последние тридцать и десять лет, представлены на рисунке 3, а для районов арктических морей (70-85° с.ш.) – на рисунке 4.

Характеристики линейного тренда, оцененные по этим рядам за 1936-2019 гг., приведены в таблице 3.

В течение 1936-2019 гг. наблюдается статистически значимый (на 5-% уровне значимости) положительный линейный тренд среднегодовой температуры для широтных зон 60-70 и 70-85° с.ш. и в целом для СПО. Линейное (по тренду) повышение температуры воздуха за 84 года составило соответственно 1,60, 1,85 и 1,68 °С. Для отдельных климатических районов значимый тренд в среднегодовой температуре воздуха прослеживается во всех районах. Потепление за 84 года составляет в районах от 1,34 до 2,52 °С.

В течение последних тридцати лет (1990-2019 гг.) температура росла во всех регионах СПО. В целом для СПО линейный рост среднегодовой температуры составил около 2,43 °С за 30 лет (или 0,81 °С/10 лет).

В районах арктических морей в течение 1936-2019 гг. всюду знак тренда положительный. В последнем 30-ти летнем периоде потепление в районах морей составило от 2,31 °С (северная часть Гренландского и Норвежского морей) до 4,74 °С (Карское море).

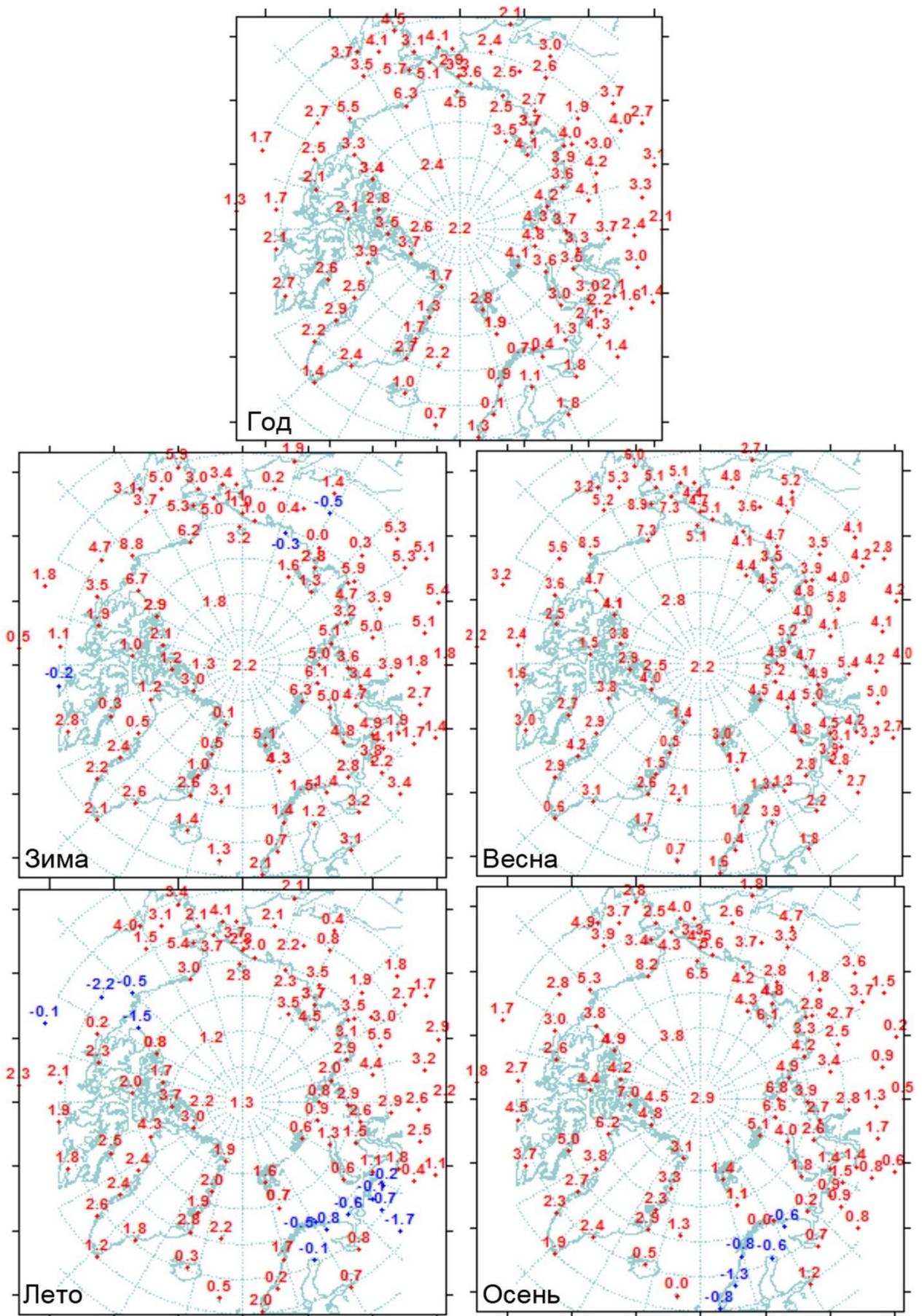


Рисунок 2 – Аномалии среднегодовой и средних сезонных температур воздуха на станциях СПО, °С.

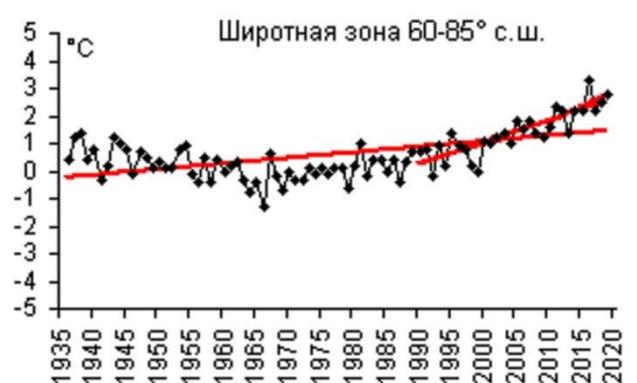
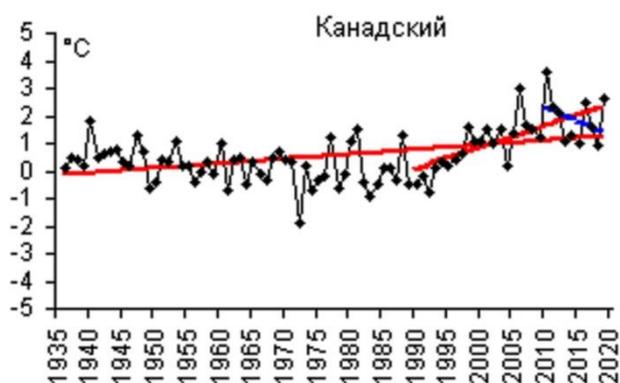
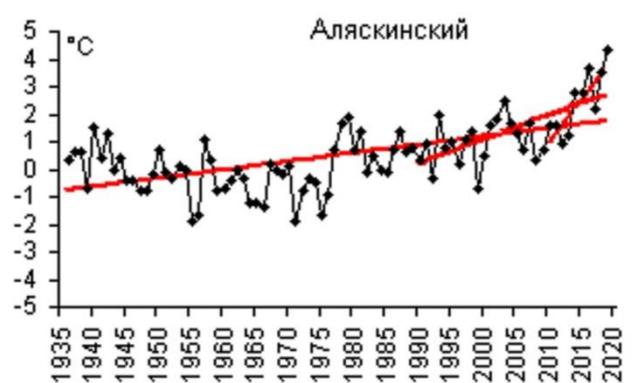
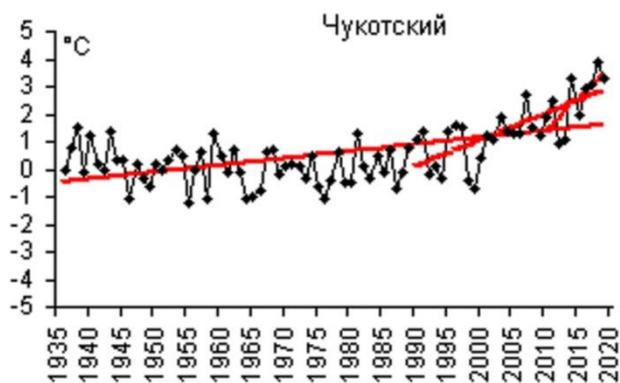
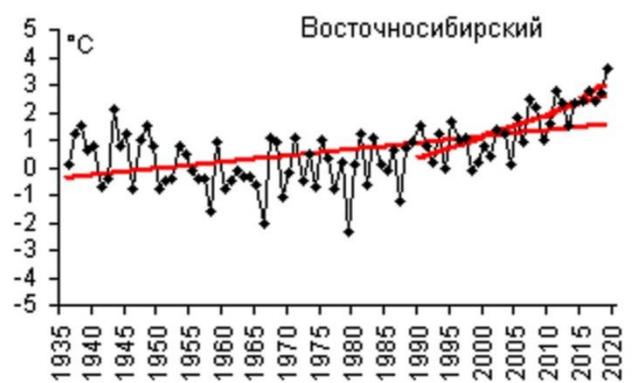
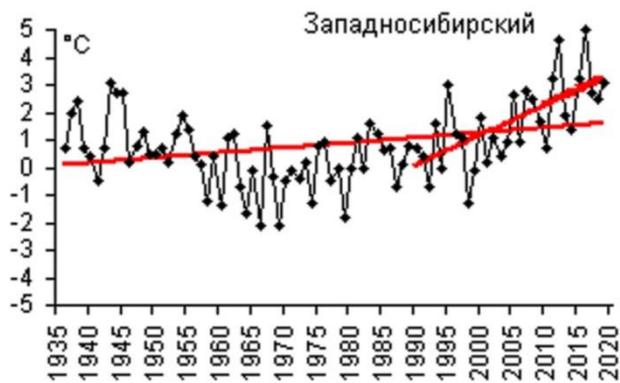
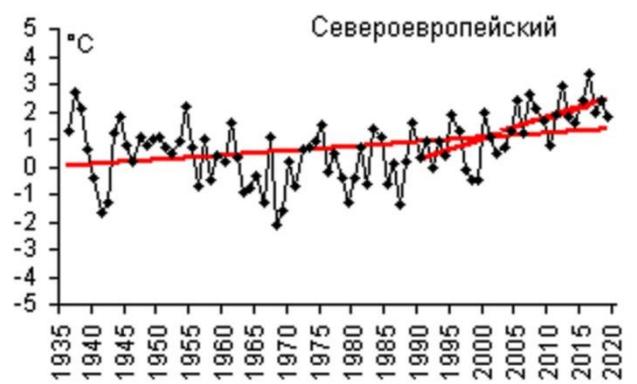


Рисунок 3 – Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для отдельных районов и широтной зоны 60-85° с.ш.

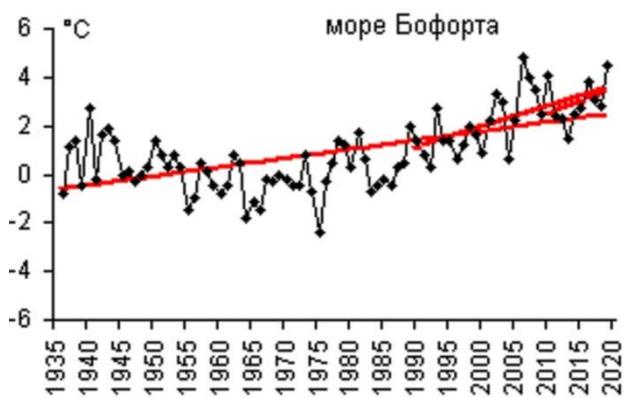
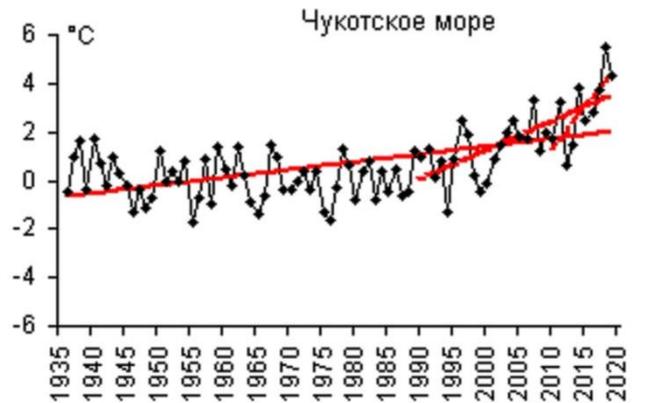
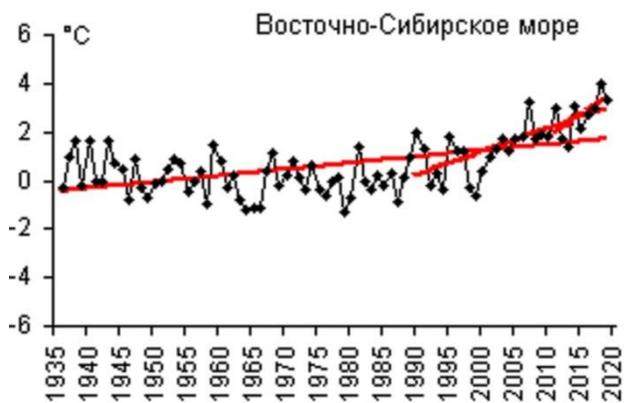
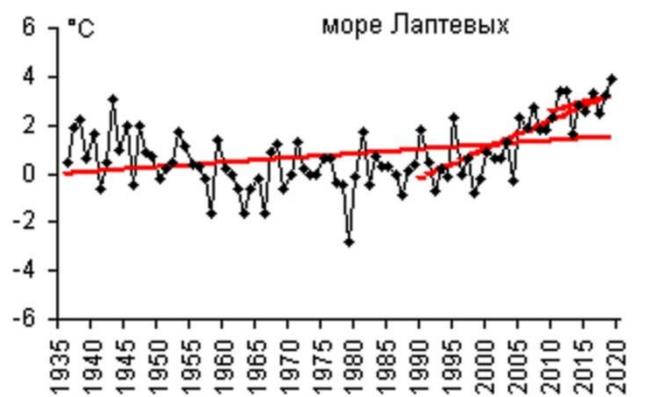
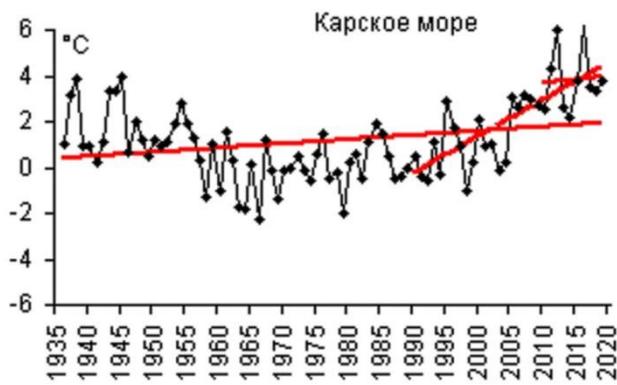


Рисунок 4 – Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для районов арктических морей

Таблица 3 – Коэффициенты линейного тренда средней за сезон и за год (декабрь-ноябрь) температуры воздуха за период 1936-2019 гг. по регионам СПО

b, °C/10 лет – коэффициент линейного тренда, *D*% – вклад тренда в дисперсию

Район, широтная зона	Зима		Весна		Лето		Осень		Год	
	<i>b</i>	<i>D</i> %								
Широтные зоны										
70-85 °с.ш.	0,23	36,1	0,28	52,9	0,14	55,3	0,21	38,3	0,22	49,8
60-70 °с.ш.	0,23	45,4	0,25	54,9	0,15	61,8	0,14	39,6	0,19	60,2
60-85°с.ш	0,24	45,5	0,26	55,3	0,14	58,7	0,17	42,0	0,20	56,7
Районы СПО										
Атлантический	0,23	40,7	0,16	43,7	0,12	46,0	0,12	32,8	0,16	47,2
Североевропейский	0,15	14,1	0,30	44,8	0,10	25,8	0,10	19,2	0,16	34,0
Западносибирский	0,13	11,4	0,34	37,8	0,13	35,5	0,12	16,4	0,18	31,5
Восточносибирский	0,26	33,2	0,36	47,0	0,15	41,9	0,17	25,0	0,24	49,6
Чукотский	0,18	24,3	0,32	44,8	0,21	58,4	0,31	46,1	0,26	56,0
Аляскинский	0,46	49,8	0,31	39,4	0,18	54,3	0,23	33,8	0,30	60,2
Канадский	0,25	34,3	0,10	17,7	0,12	42,1	0,21	40,3	0,17	43,7
Моря как часть климатического района										
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	0,32	37,4	0,25	48,2	0,19	61,7	0,19	36,7	0,24	52,2
Баренцево море	0,11	10,7	0,26	39,1	0,10	28,2	0,14	23,6	0,15	28,9
Карское море	0,12	8,8	0,35	36,8	0,10	28,0	0,18	19,5	0,19	26,3
Море Лаптевых	0,12	15,8	0,30	39,3	0,13	34,1	0,16	20,5	0,18	13,0
Восточно-Сибирское море	0,24	35,6	0,32	42,8	0,19	48,7	0,29	39,7	0,26	54,2
Чукотское море	0,37	38,2	0,36	41,9	0,22	55,1	0,33	46,9	0,32	55,9
Море Бофорта	0,53	57,7	0,25	42,7	0,13	40,3	0,30	45,8	0,30	60,0
Северная часть Канадского района	0,19	23,4	0,10	15,6	0,08	22,1	0,21	38,8	0,15	34,6

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения, статистически значимые на уровне значимости 5%

Атмосферные осадки. Оценка многолетних изменений количества осадков в СПО проводится по тем же климатическим районам, что и для температуры воздуха. За холодный сезон принимается период с октября по май, а за теплый – с июня по сентябрь. В таблице 4 представлены относительные аномалии сезонных и годовых сумм осадков в 2018/19 г. для СПО и для отдельных климатических районов.

В целом для СПО в 2018/19 г. годовая сумма осадков была около нормы.

В отдельных районах самое малое количество осадков за год выпало в Атлантическом (на 11,5 % ниже нормы) и наибольшее – в Западносибирском (на 20,3 % выше нормы).

На рисунке 5 приведены временные ряды годовых сумм осадков для районов арктических морей. В таблице 5 представлены оценки трендов в изменении сезонных и годовых сумм осадков с 1936 по 2019 г. по северным (70–85° с.ш.), южным (60–70° с.ш.) частям климатических районов, а также для районов в целом.

Таблица 4 – Относительные аномалии (%) сезонных и годовых сумм осадков в 2018/19 г. (в % от нормы 1961-1990 гг.)

Район, широтная зона	Холодный период	Теплый период	Год
Атлантический	84,3	98,0	88,5
Североевропейский	119,5	104,5	113,0
Западносибирский	127,7	112,3	120,3
Восточносибирский	92,2	81,7	86,6
Чукотский	90,9	81,1	86,6
Аляскинский	119,7	113,1	116,1
Канадский	80,3	111,6	96,5
70-85 °с.ш.	115,9	103,2	110,2
60-70 °с.ш.	99,0	102,6	100,6
60-85 °с.ш.	99,4	100,6	99,9

Таблица 5 – Оценки линейного тренда регионально осредненных сезонных и годовых сумм осадков за период 1936-2019 гг.

b, мм/10 лет – коэффициент линейного тренда, *D*, % – вклад тренда в полную дисперсию

Район, широтная зона	Холодный период		Теплый период		Год	
	<i>b</i>	<i>D</i> %	<i>b</i>	<i>D</i> %	<i>b</i>	<i>D</i> %
Южная часть Гренландского и Норвежского морей	5,25	13,1	-0,76	6,3	4,49	11,0
Североевропейский (южная часть)	13,97	69,5	2,58	21,7	16,55	65,2
Западносибирский (южная часть)	8,99	62,0	-0,80	6,6	8,19	31,9
Восточносибирский (южная часть)	2,40	37,4	-0,57	7,9	1,83	17,9
Чукотский (южная часть)	0,21	1,4	-0,28	2,8	-0,07	3,7
Аляскинский (южная часть)	3,53	23,7	-0,59	3,8	2,94	11,4
Канадский (южная часть)	-0,49	6,8	2,13	31,0	1,64	24,2
60-70°с.ш.	5,03	47,3	0,27	6,0	5,30	43,9
Северная часть Гренландского и Норвежского морей	10,24	55,7	0,84	8,2	10,08	52,8
Баренцево море	6,89	59,7	-0,50	4,7	6,39	39,6
Карское море	0,45	5,5	-0,74	8,1	-0,29	2,2
Море Лаптевых	-3,06	40,3	-3,32	34,4	-6,38	48,8
Восточно-Сибирское море	-7,31	58,4	-5,75	49,3	-13,06	68,2
Чукотское море	-8,89	54,0	-4,73	34,0	-13,62	54,0
Море Бофорта	-0,70	7,3	1,43	18,6	0,73	4,9
Канадский (северная часть)	0,41	7,3	0,61	11,1	1,02	14,0
70-85°с.ш.	1,69	33,8	-0,79	18,7	0,90	10,9
Атлантический	6,95	24,7	-0,36	4,1	6,59	21,8
Североевропейский	11,11	75,5	1,13	13,0	12,24	67,2
Западносибирский	5,39	59,0	-0,95	11,9	4,44	30,4
Восточносибирский	0,31	6,2	-1,39	21,8	-1,08	15,1
Чукотский	-2,79	23,2	-2,03	23,6	-4,62	34,4
Аляскинский	1,90	16,1	-1,60	12,4	0,30	3,7
Канадский	-0,14	2,5	1,46	30,7	1,32	23,8
60-85°с.ш.	3,30	46,1	-0,51	14,6	2,79	35,3

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения, статистически значимые на уровне значимости 5%

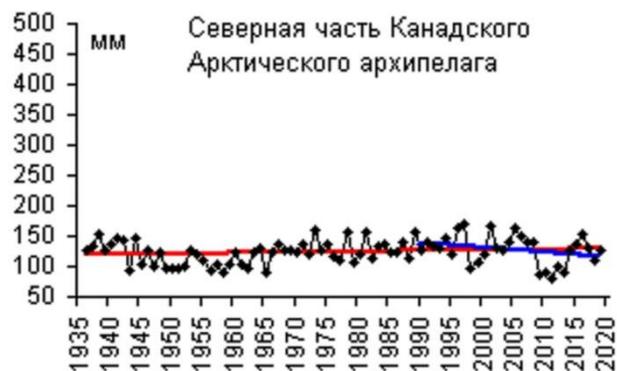
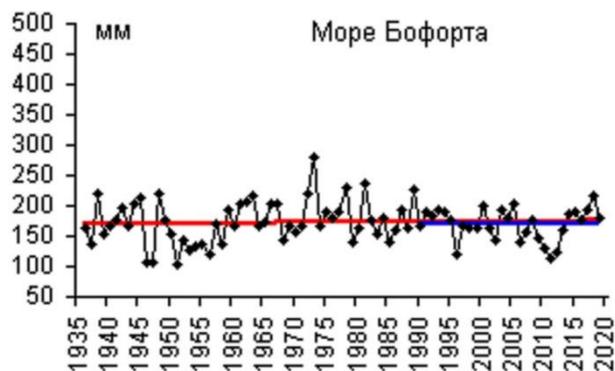
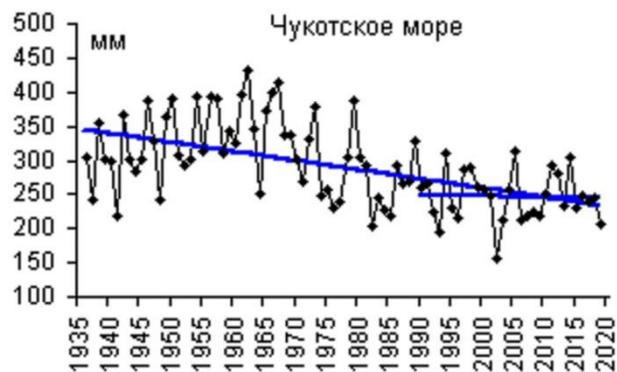
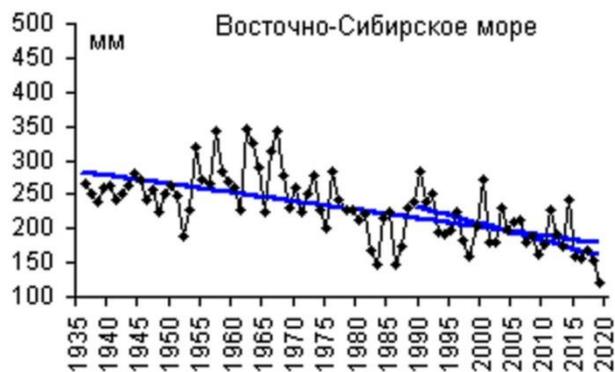
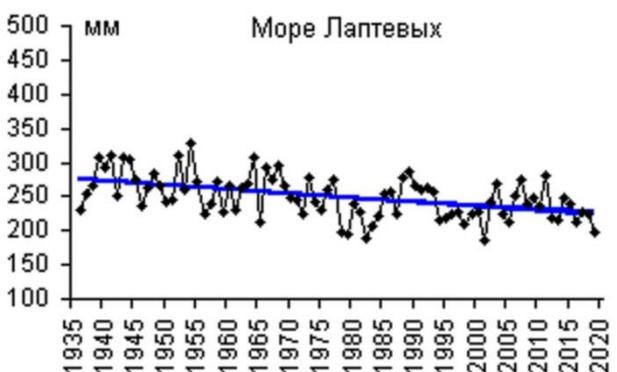
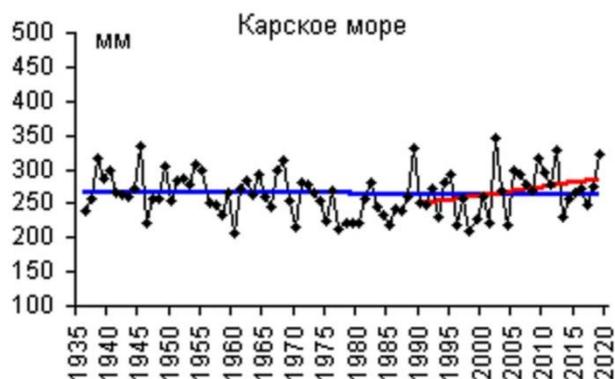
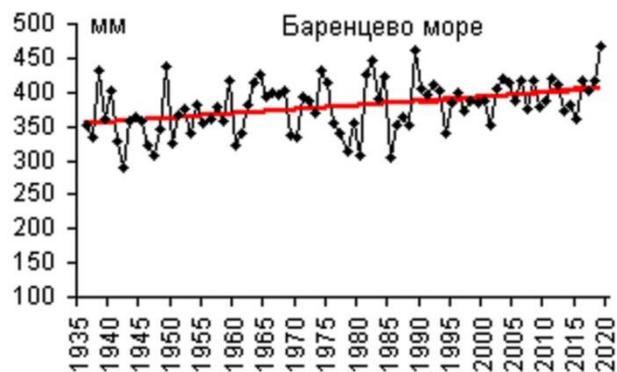
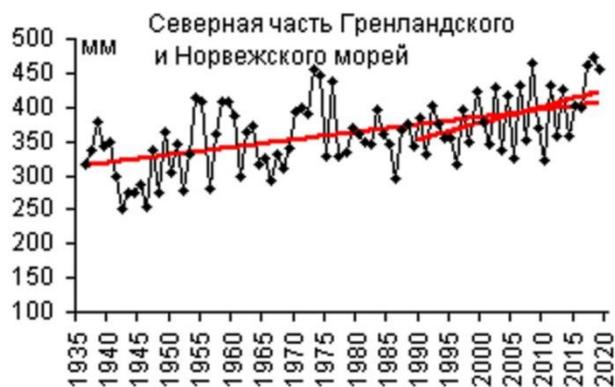


Рисунок 5 – Временные ряды регионально осредненных годовых сумм осадков

В многолетних изменениях годовых сумм осадков за период 1936-2019 гг. в СПО наблюдается тенденция их статистически значимого их увеличения со средней скоростью около 3 мм/10 лет. При этом рост осадков преимущественно отмечается в канадско-европейском секторе, включая Атлантику, и, в основном, в холодный период года.

Тенденция к убыванию осадков уверенно обнаруживается в Чукотском районе и в районах арктических морей азиатского сектора СПО в течение всего года. Более всего рост осадков выражен в южной части Североευропейского района (14,0 мм/10 лет для осадков холодного периода и 17,6 мм/10 лет для годовых сумм), а уменьшение – в Восточно-Сибирском и Чукотском морях (13,1 и 13,6 мм/10 лет для годовых сумм осадков).

В заключение отметим, что результаты мониторинга состояния приземной атмосферы в Северной полярной области позволяют сделать вывод о сохранении в последние годы тенденции к потеплению в высоких широтах.

Морская Арктика

Температура воздуха. Приповерхностная температура воздуха (ПТВ) зимой 2019 года в морской Арктике (область распространения морского льда (рис. 6,б)) составила -20.5°C (рис. 6,а) и заняла 6-е место в ряду зимних ПТВ (первое -18.5°C в 2016 году). Летом (рис. 6,в) ПТВ $+5.9^{\circ}\text{C}$ оказалась на уровне самых высоких ПТВ (в 2012, 2016 и 2019 гг.). Средняя за год ПТВ в 2019 году равна -7.8°C и занимает 2-е место в ряду «теплых» лет после 2016 года (-7.2°C).

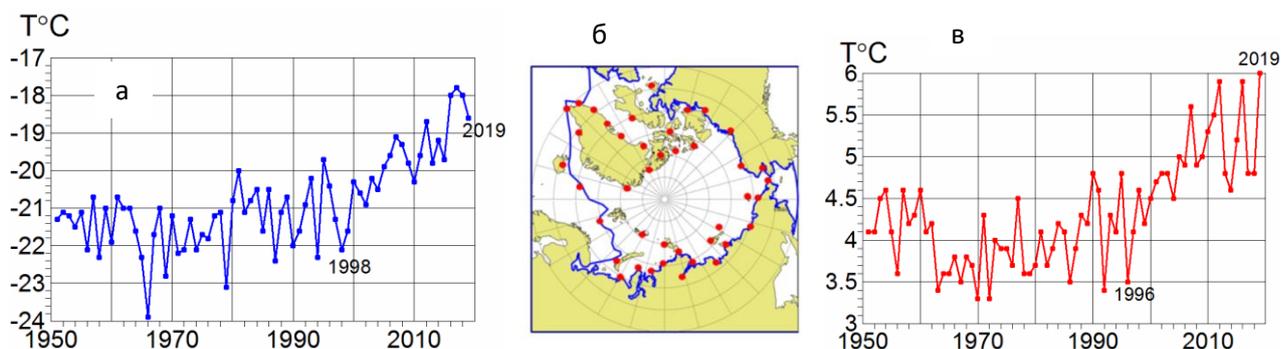


Рисунок 6 – Средняя за декабрь-февраль (а) и за июнь-август (в) приповерхностная температура воздуха на 41 станции в морской Арктике (б) в 1951–2019 гг.

Морские льды. По данным ААНИИ (<http://wdc.aari.ru/datasets/ssmi/data/north/extent/arctic/>) минимальная среднемесячная площадь, занятая морским льдом в середине сентября 2019 года составила 4.10 млн. кв. км, что является третьим после абсолютного минимума 2012 года (3.35 млн. кв. км) и после минимума 2016 года (4.099 млн. кв. км) (рис. 5.7). Аналогичные оценки Национального центра данных по снегу и льду (США, NSIDC, <https://nsidc.org/arcticseaicenews/>) составляют 4.14 и 4.15 млн. кв. км, соответственно. В

сентябре 2016 и 2019 гг. Средняя площадь, занятая морским льдом в сентябре 2019 года (4.32 млн. кв. км) оказалась второй в ряду минимальных значений после 2012 года (3.58 млн. кв. км).

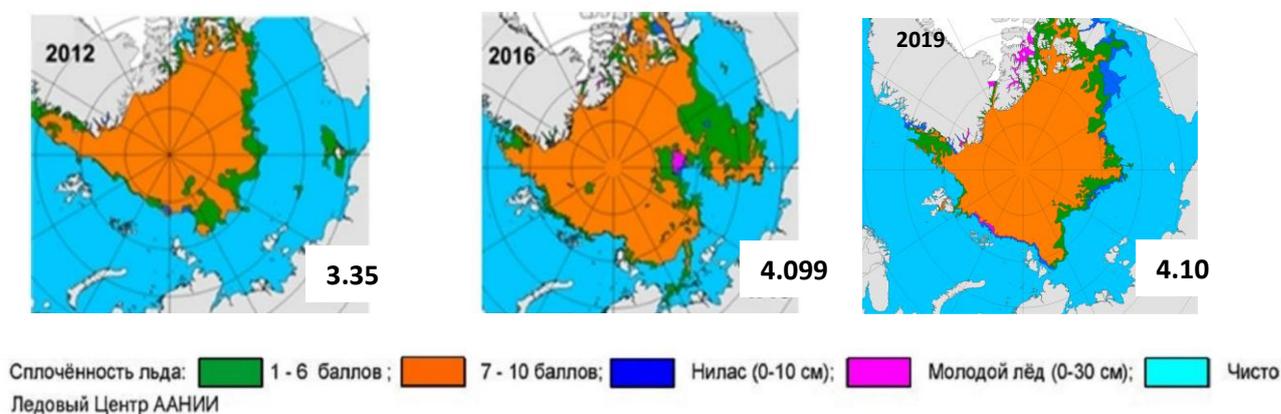


Рисунок 7. – Морской ледяной покров Арктики в середине сентября 2012–2019 гг. (<http://wdc.aari.ru>).

Сокращение площади, занятой льдом в сентябре, находится в тесном соответствии с ростом летней температуры воздуха в морской Арктике (коэффициент корреляции между ними равен -0.92 за 1979-2019 гг. (рис. 8).

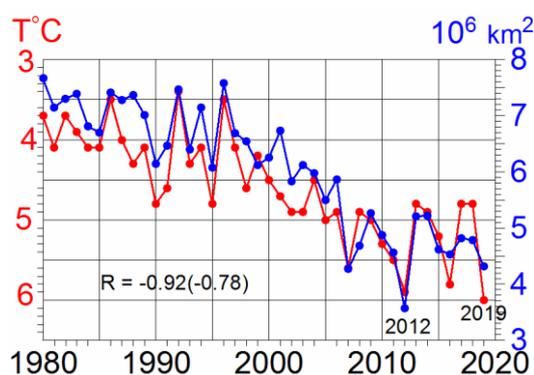


Рисунок 8. – Средняя сентябрьская площадь, занятая морским льдом, (по данным <http://wdc.aari.ru>) и летняя (июнь-август) приповерхностная температура воздуха в морской Арктике. R – коэффициент корреляции, в скобках - то же для отклонений от полиномиального (3й степени) тренда.

Акватория Северного морского пути. В связи с возрастающим вниманием к изменениям климата на акваториях Северного Ледовитого океана, через которые проходят трассы Северного морского пути (СМП), ниже представлены характеристики климата и ледовых условий в этом районе морской Арктики.

Изменения средних зимней и летней температур воздуха на акватории арктических морей, по которым проходит трасса СМП, представлены на рис. 9. Видно, что потепление в этом районе морской Арктики началось в 1996 году летом и в 1998 году. Средняя за год

ПТВ в 2019 году равна -8.4°C (6-е значение в ряд «теплых» лет, рекорд -7.3°C в 2016 году). Зимняя ПТВ в 2019 году -19.4°C (3-е значение в ряду «теплых» зим. Рекорд -18.4°C в 2012 году). Летом ПТВ в 2019 году оказалась второй (5°C) после лета 2016 года ($+5.1^{\circ}\text{C}$).

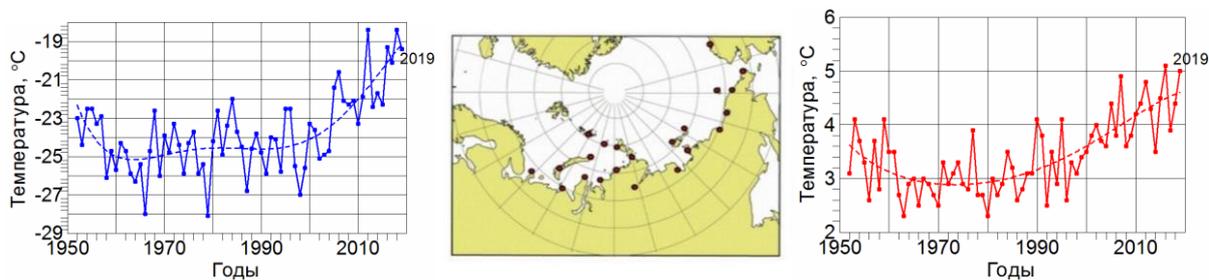


Рисунок 9 - Средняя температура воздуха зимой (а) и летом (в) на акватории арктических морей, по которым проходит трасса СМП, по данным 22 метеорологических станций (б).

Морской ледяной покров в арктических морях в конце лета быстро сокращался, начиная с 2001 года, уменьшившись к 2005 году до 300 тыс. кв. км. В последние 15 лет его площадь в сентябре колеблется около 200-300 тыс. кв. км, что в 4-5 раз меньше, чем в 1980-х гг. (рис. 10).

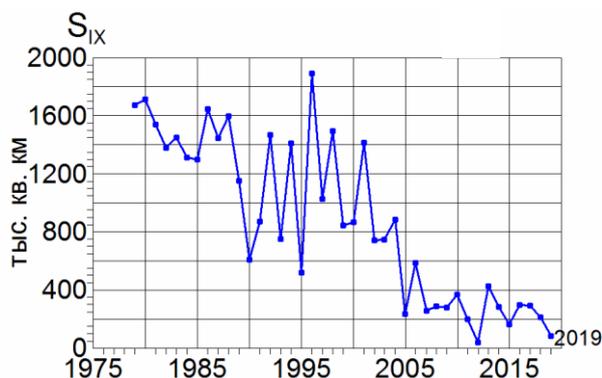


Рисунок 10 – Площадь, занятая морским льдом в сентябре в Сибирских арктических морях (моря Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское) по данным (<http://wdc.aari.ru>) .