

- [2] Бухановский А. В., Кох А. О., Рожков В. А. Статистический анализ водных масс Балтийского моря // Труды ГОИН. 2002. Вып. 208. С. 96—126.
- [3] Клеванцов Ю. П., Рожков В. А., Смирнов К. Г., Сухих Н. А. Статистический анализ вертикального распределения трехкомпонентного вектора скорости морских течений // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 4(94). С. 41—52.
- [4] Клеванцов Ю. П., Рожков В. А., Смирнов К. Г., Сухих Н. А. Вертикальная структура течений в Финском заливе // Изв. РГО. 2013. Т. 145, вып. 4. С. 24—43.
- [5] Hjelmervik K. T., Hjelmervik K. Estimating temperature and salinity profiles using empirical orthogonal functions and clustering on historical measurements // Ocean Dynamics. 2013. Vol. 63. P. 809—821.

Санкт-Петербург
varozhk@gmail.com
Санкт-Петербургский государственный университет

Поступило в редакцию
29 апреля 2014 г.

Изв. РГО. 2014. Т. 146, вып. 4

© Л. Е. НАЗАРОВА

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СРЕДНИХ МНОГОЛЕТНИХ ЗНАЧЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В КАРЕЛИИ

Данные многолетних метеорологических наблюдений свидетельствуют, что с начала XX в. происходят изменения глобальной климатической системы. Закономерности происходящих изменений в конце XX—начале XXI в. представляются наиболее интересными. Именно детальный анализ климатических особенностей регионов, изучение ответной реакции природных систем на изменения климата на основе репрезентативных наблюдений позволят внести определенный вклад в решение проблем изменения климата.

Описанию климатических условий Карелии посвящено несколько работ, основанных на анализе данных наблюдений до 1980-х гг. Наиболее полная характеристика климата республики дана в работе А. А. Романова [7]. Климатические условия отдельных районов Карелии подробно рассмотрены в работах «Климат Петрозаводска» [3] и «Климат Сортавалы» [4]. Карты, характеризующие климат Карелии, приведены в «Атласе Карельской АССР» [1]. Они содержат сведения о температуре воздуха, осадках, направлении ветра, характеристике климата по сезонам. «Научно-прикладной справочник по климату СССР» [6] содержит данные по 9 метеорологическим станциям (МС) Карелии из 32 существовавших на тот момент станций (данные до 1980 г.). В работе Н. Н. Филатова [8] рассмотрены условия формирования и основные характеристики климата в районе Ладожского и Онежского озер. Ко времени написания данной работы в базе данных ИВПС КарНЦ РАН содержались сведения об основных климатических параметрах по 1990 г. В сборнике «Климат Карелии: изменчивость и влияние на водные объекты» [2] под редакцией Н. Н. Филатова анализируются данные по 2000 г. включительно. Изменения климата последних 10—15 лет не нашли своего отражения в приведен-

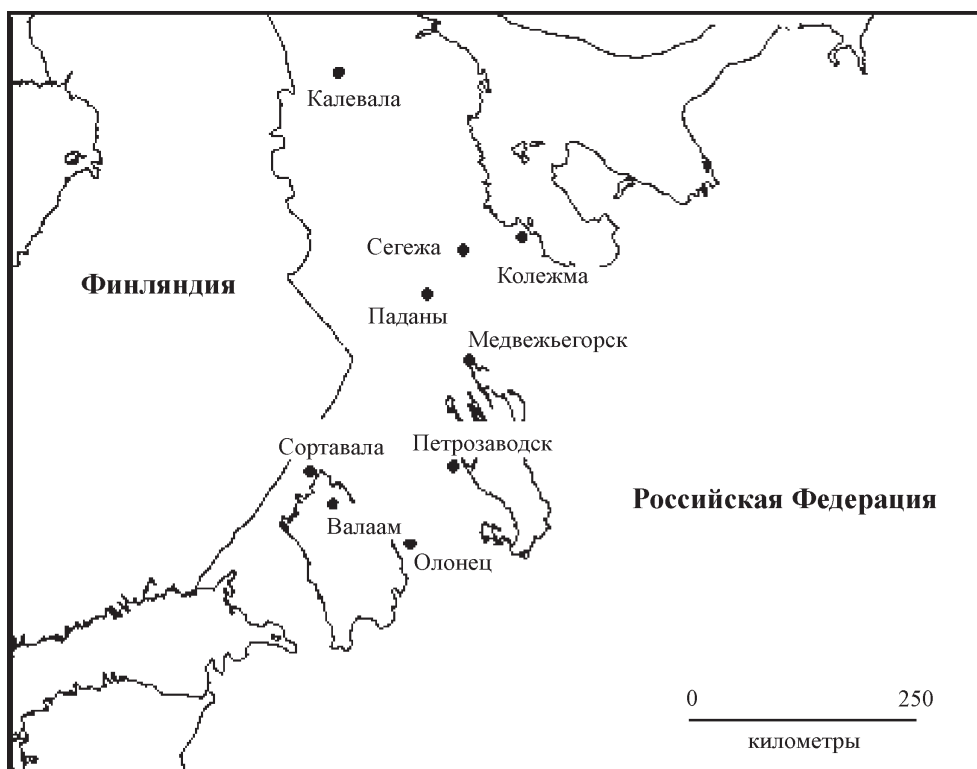


Рис. 1. Расположение метеорологических станций на территории Республики Карелия.

ных публикациях, а именно в это время отмечаются наиболее значимые изменения в климатических системах различного масштаба.

В представленной работе характеристика климата Карелии дана с учетом современных данных наблюдений. Средние многолетние значения метеорологических элементов рассчитывались по 2010 г. включительно.

Исследовать климатическую систему можно разными методами и с разных точек зрения, например с помощью статистических методов, используя данные многолетних наблюдений, или изучая физические процессы, ответственные за формирование климата, или с помощью моделирования. Обнаружение изменения климата рассматривается как процесс, который должен продемонстрировать, что наблюдающиеся вариации климата необычны в статистическом смысле или статистически значимы. Таким образом, первой задачей любого исследования в области изменения климата должно быть статистическое описание имеющихся многолетних серий наблюдений, прежде всего инструментальных.

В качестве исходной информации в данной работе были использованы ряды средних суточных величин температуры воздуха по наблюдениям метеорологических станций (МС) Карелии за период 1951—2011 гг. (рис. 1). Расчет дат устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через определенные градации и сумм средних суточных температур воздуха выше 0, 5 и 10 °C за 1991—2010 гг. производился по данным наблюдений на 5 метеорологических станциях Северо-Западного территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, расположенных

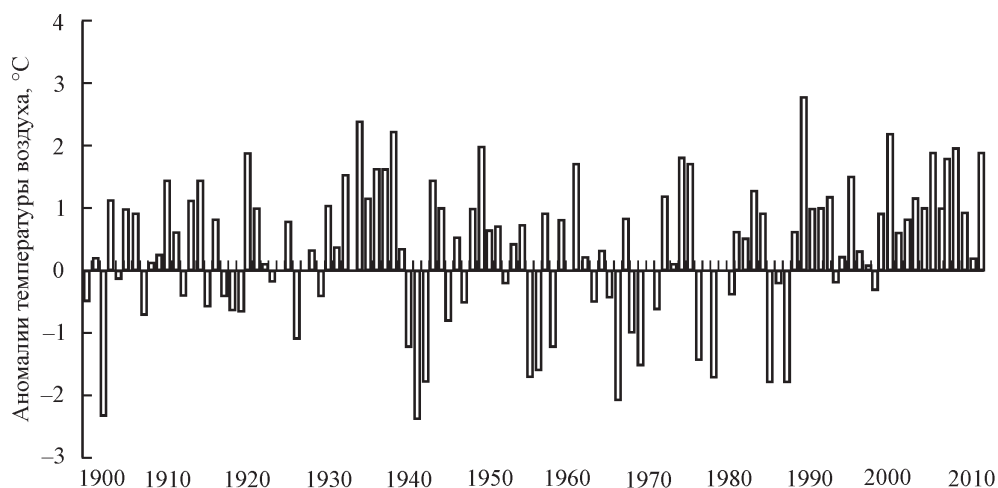


Рис. 2. Отклонение от нормы (1961—1990 гг.) средней годовой температуры воздуха по данным МС Петрозаводск за 1900—2011 гг.

на территории Карелии. Даты перехода через 0°C весной и осенью считают датами начала и окончания теплого периода года; даты перехода через 5°C принимают за начало и конец вегетационного периода, даты перехода через 10°C характеризуют продолжительность летнего периода активной вегетации.

Полученные ряды в зависимости от задач исследования подвергались статистической обработке. Анализ пространственно-временной изменчивости полей годовой и средней месячной температуры воздуха показал, что для всех станций наблюдений, расположенных в Карелии, коэффициенты парной корреляции выше 0.8. Следовательно, рассчитывать средние по различным районам Карелии и по территории в целом величины температуры воздуха возможно как средние арифметические значения.

Температура воздуха является одним из наиболее точно измеряемых метеорологических элементов. Для рассматриваемого региона зональность распределения температуры проявляется в ее постепенном возрастании по мере продвижения от высоких широт к более низким. Так, температура самого холодного месяца года (января) изменяется от -12 — -13°C в северной части республики до -9 — -10°C в южных районах. Среднеиюльская температура воздуха составляет 14 — 15°C на севере и 16 — 17°C на остальной территории Карелии. Средние многолетние значения средней годовой температуры воздуха изменяются от 0°C в северных районах до 2.6 — 2.8°C на юге республики. Самые высокие нормы средней годовой температуры воздуха отмечены в районе Ладожского озера (3.0°C на МС Сортавала и 3.3°C на МС Валаам).

В течение XX в. и первого десятилетия XXI в. в целом отмечается положительная тенденция изменения средней годовой температуры воздуха по всей территории Карелии. В то же время внутривековой ход среднегодовой температуры воздуха не является монотонно возрастающим: рост температуры с начала века к 1950-м гг. сменился похолоданием, на смену которому в 1980-е гг. пришла новая волна потепления. Начиная с 1989 г. значения средней годовой температуры воздуха превышали климатическую норму, рассчитанную за 1961—1990 гг., практически во все годы (рис. 2). Данная тенденция отмечена для всей территории Карелии [5, 8]. По данным Финского метео-

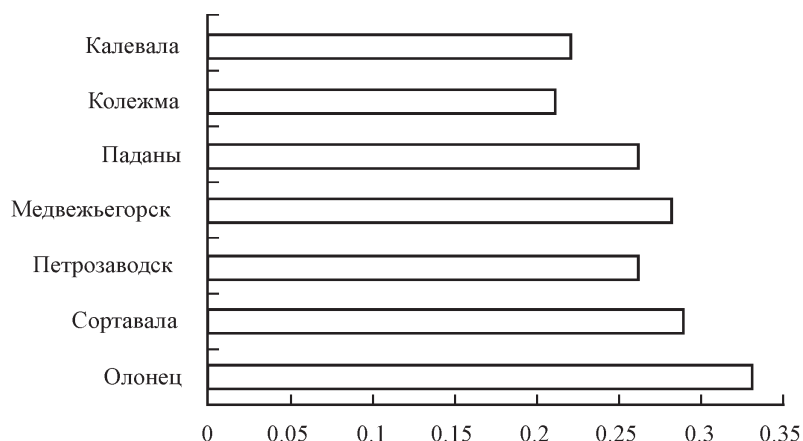


Рис. 3. Значения коэффициентов линейного тренда средней годовой температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) по данным метеорологических станций Карелии за 1951—2011 гг.

рологического института, на территории Финляндии в течение 1990—2010 гг. также наблюдались только положительные аномалии средней годовой температуры воздуха. Они составляли $0,5\text{—}1,5^{\circ}\text{C}$ [9].

По территории Карелии повышение средней годовой температуры воздуха происходило неравномерно. Наибольшие значения коэффициентов линейных трендов за период 1951—2011 гг. в Карелии были получены по данным наблюдений метеостанций, расположенных в южных районах республики вблизи побережья Ладожского озера: на МС Олонец $0,34^{\circ}\text{C}/10$ лет, на МС Сортавала $0,3^{\circ}\text{C}/10$ лет (рис. 3). В центральных районах Карелии тенденции повышения средней годовой температуры воздуха менее выражены: $0,26\text{—}0,27^{\circ}\text{C}/10$ лет. Значения коэффициента линейного тренда средней годовой температуры воздуха, характеризующие потепление в северных районах исследуемой территории, наименьшие: около $0,2^{\circ}\text{C}/10$ лет. Таким образом, для рассматриваемого региона интенсивность повышения средней годовой температуры воздуха постепенно возрастает по мере продвижения от высоких широт к более низким.

Для нестационарных процессов, к которым относятся процессы изменения температуры воздуха, характерно постоянное изменение среднего значения, поэтому следует считать среднее значение (норму) функцией времени. В табл. 1 приведены климатические нормы средней годовой температуры воздуха в Карелии за два стандартных климатических периода 1931—1960 и 1961—1990 гг. и средние значения за 1991—2010 гг. для различных метеорологических станций. Анализ приведенных значений показывает, что изменение климатических норм в течение двух климатических периодов не происходило совсем или было незначимым, в то время как в конце XX—начале XXI в. средние многолетние значения годовой температуры воздуха превышают нормы на $0,9\text{—}1,2^{\circ}\text{C}$.

Во внутригодовом ходе можно отметить следующие особенности изменения средних месячных значений температуры воздуха в Карелии. Повышение средних многолетних значений выявлено для всех месяцев года по всей территории республики (табл. 2). Наибольшее изменение климатических норм отмечено для температуры декабря и особенно января (повышение на $1,5\text{—}2,5^{\circ}\text{C}$).

Таблица 1
Средняя годовая температура воздуха, °С

Метеорологическая станция	Период осреднения		
	1931—1960 гг.	1961—1990 гг.	1991—2010 гг.
Калевала	0.5	0.3	1.3
Реболы	1.2	1.1	2.1
Паданы	1.4	1.6	2.4
Сегежа	1.4	1.3	2.2
Медвежьегорск	1.5	1.5	2.5
Петрозаводск	2.2	2.4	3.3
Пудож	2.2	2.1	2.9
Сортавала	3.0	3.0	4.0
Олонец	2.5	2.7	3.9

Нагляднее отмеченные особенности изменения внутригодового температурного режима проиллюстрированы на рис. 4. График построен по данным наблюдений на метеорологической станции Медвежьегорск. Во все месяцы, кроме ноября, средние значения последних 20 лет превышают климатическую норму. В ноябре на некоторых метеостанциях Карелии (Петрозаводск, Пудож, Суоярви) отмечается слабая тенденция к понижению температуры воздуха, ряд станций (Реболы, Медвежьегорск, Сегежа, Паданы, Олонец) не наблюдают каких-либо изменений в температурном режиме этого месяца.

Изменения в температурном режиме территории приводят к смещению дат начала и окончания климатических сезонов года. В результате произведенных расчетов было установлено, что даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0, 5 и 10 °С в сторону повышения и понижения температу-

Таблица 2
Средняя месячная температура воздуха, °С

Месяц	Калевала		Петрозаводск		Олонец	
	1961—1990 гг.	1991—2010 гг.	1961—1990 гг.	1991—2010 гг.	1961—1990 гг.	1991—2010 гг.
I	–13.7	–11.0	–11.4	–8.5	–11.3	–9.9
II	–12.5	–12.0	–10.0	–9.3	–10.0	–9.6
III	–7.3	–6.2	–4.5	–3.8	–5.1	–4.6
IV	–1.1	–0.1	1.3	2.5	1.8	2.3
V	5.8	6.2	8.2	8.5	9.1	9.3
VI	12.3	12.7	13.6	13.9	14.0	14.2
VII	15.2	15.9	16.1	17.2	16.3	16.9
VIII	12.4	13.1	14.1	14.9	14.4	14.7
IX	7.1	7.9	8.9	9.8	9.3	9.6
X	1.4	1.9	3.4	3.8	3.8	4.0
XI	–4.9	–4.2	–2.4	–2.5	–1.9	–1.8
XII	–10.6	–8.2	–7.6	–6.2	–7.4	–6.7

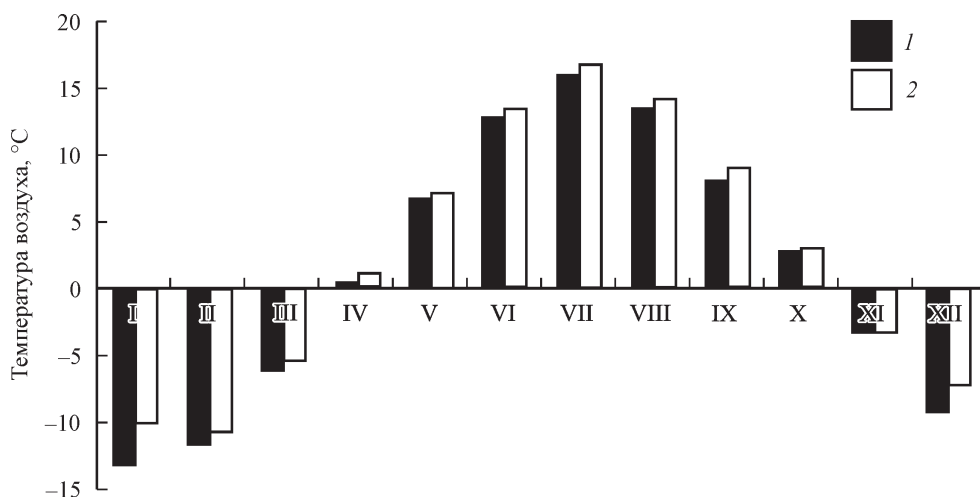


Рис. 4. Средняя месячная температура воздуха за 1961—1990 (1) и 1991—2010 гг. (2) по данным МС Медвежьегорск.

ры в течение 1991—2010 гг. были смещены относительно средних многолетних значений. Наибольшее отклонение от климатических норм характерно для дат наступления и окончания теплого периода года (выше 0°C). Наступление холодного периода года происходило позже многолетней даты на 5—23 дня в разные годы. В течение 1991—2010 гг. холодный период оканчивался на 10—20 и 6—10 дней раньше средних многолетних значений в Карелии и на Кольском полуострове соответственно. В результате наблюдавшихся отклонений дат устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C средняя за указанный отрезок времени продолжительность теплого периода года составила от 200 в северных районах до 220 дней в южных вместо 192—210 дней по климатической норме. Число дней в году, когда среднесуточная температура воздуха устойчиво превышала 5°C , составляло в среднем за первое десятилетие XXI в. 148 дней на севере Карелии и 170 в центральных и южных районах при климатической норме 134 и 151—159 соответственно. Число дней с температурой воздуха выше 10°C было выше нормы на 7—13 дней.

Рассчитанные по данным о среднесуточной температуре воздуха за период с 1991 по 2010 г. даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0, 5 и 10°C как в сторону понижения, так и в сторону повышения температуры для некоторых населенных пунктов Карелии приведены в табл. 3.

Агроклиматическое районирование территории Карелии, в основу которого были положены многолетние данные, отражающие ход важнейших для сельского хозяйства метеорологических элементов, было выполнено в середине XX в., в результате чего были выделены четыре агроклиматические зоны и восемь районов в них [7]. По современным данным (до 2010 г.) были пересчитаны основные показатели для каждой зоны, которые использовались при проведении районирования. Основной вывод состоит в следующем. В современных климатических условиях выделяются те же зоны и районы, но отмечается повсеместное повышение температуры воздуха, среднего числа дней с температурой воздуха выше определенных градаций, сумм летних температур выше определенных значений.

Таблица 3

**Даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0, 5 и 10 °С
в сторону повышения (↑) и понижения (↓) температуры
(климатическая норма и среднее значение за 1991—2010 гг.)**

Метеорологическая станция	Температура воздуха, °С					
	0↑	+5↑	+10↑	+10↓	+5↓	0↓
Калевала: норма	21 IV	14 V	6 VI	1 IX	26 IX	22 X
1991—2010 гг.	14 IV	14 V	3 VI	5 IX	2 X	30 X
Реболы: норма	17 IV	10 V	2 VI	4 IX	29 IX	25 X
1991—2010 гг.	9 IV	8 V	31 V	8 IX	6 X	2 XI
Паданы: норма	15 IV	12 V	5 VI	5 IX	3 X	28 X
1991—2010 гг.	8 IV	10 V	30 V	12 IX	11 X	7 XI
Петрозаводск: норма	8 IV	3 V	28 V	11 IX	2 X	1 XI
1991—2010 гг.	5 IV	1 V	23 V	19 IX	11 X	7 XI
Сортавала: норма	9 IV	1 V	26 V	13 IX	8 X	7 XI
1991—2010 гг.	4 IV	30 IV	26 V	20 IX	13 X	14 XI

Исследование основных характеристик температурного режима Карелии по данным метеорологических наблюдений в течение второй половины XX в. и в начале XXI в. позволило сделать следующие выводы. Начиная с 1989 г. наблюдается устойчивое превышение нормы средней годовой температуры воздуха на 1—2 °С. Интенсивность повышения средней годовой температуры воздуха постепенно возрастает по мере продвижения от высоких широт к более низким. Наиболее интенсивное потепление отмечается в зимние месяцы. В результате наблюдаемых изменений даты наступления сезонов года оказались смещены относительно климатической нормы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 13-05-00338).

Список литературы

- [1] Атлас Карельской АССР. М., 1989. С. 14—15.
- [2] Климат Карелии: изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы / Под ред. Н. Н. Филатова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 224 с.
- [3] Климат Петрозаводска / Ред. Ц. А. Швер. Л., 1982. 212 с.
- [4] Климат Сортавалы / Ред. Ц. А. Швер и Л. С. Ракова. Л., 1988. 117 с.
- [5] Назарова Л. Е. Многолетние изменения температуры воздуха в Карелии // География и природ. ресурсы. 2008. № 3. С. 75—79.
- [6] Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1—6, вып. 3. Карельская АССР, Ленинградская, Новгородская, Псковская и Смоленская области. Л., 1988. 692 с.
- [7] Романов А. А. О климате Карелии. Петрозаводск, 1961. 139 с.
- [8] Филатов Н. Н. Изменения климата Восточной Финноскандии. Петрозаводск, КарНЦ РАН, 1997. 147 с.
- [9] Finland's Fifth National Communication under the United Nations Framework Conventions on climate change. Helsinki, 2010. 282 p.

Петрозаводск
nazarova@nwpi.krc.karelia.ru
Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН

Поступило в редакцию
7 июня 2013 г.