ИЗВЕСТИЯ РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА 2021, том 153, № 1, с. 3–18

# ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ В КОНЦЕ XX–НАЧАЛЕ XXI вв.

**© 2021 г. А. И. Резников[a], *, Г. А. Исаченко[a], ****

[a] *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

**E-mail: ar1725.2@gmail.com*

***E-mail: greg.isachenko@gmail.com*

Поступила в редакцию 24.12.2020 г.
После доработки 03.01.2021 г.
Принята к публикации 10.01.2021 г.

Рассмотрены, по данным 35 гидрометеостанций, изменения основных климатических показателей западной части тайги Европейской территории России (ЕТР) за период с 1991 г. по настоящее время в сравнении с аналогичными показателями за период 1960–1990 гг.: среднемесячных температур воздуха января и июля, годовых сумм атмосферных осадков, годовых сумм среднесуточных температур воздуха, превышающих +10°С, числа дней за год со среднесуточной температурой выше +10°С. Для всех рассматриваемых показателей были вычислены изменения значений за период с 1991 г. по сравнению с базовым периодом; установлены линейные тренды и средние скорости изменения показателей в базовый и актуальный периоды. Изменения климатических показателей рассмотрены в разрезе трех основных подзон тайги Восточной Европы – северной, средней и южной. Выявлено существенное повышение температур воздуха на всей рассматриваемой территории за период после 1991 г. по сравнению с периодом 1960–1990 гг., причем увеличение зимних температур существенно больше, чем летних. Среднегодовые суммы атмосферных осадков на рассмотренной территории изменялись разнонаправленно: в северной и западной части они за последние 25 лет преимущественно увеличились, а в юго-восточной части – преимущественно уменьшились. На всей территории существенно выросли суммы среднесуточных температур, превышающих +10°С, и количество дней со среднесуточными температурами выше +10°С. Сопоставление диапазонов показателей теплообеспеченности, установленных для подзон западной части тайги ЕТР по гидрометеоданным, полученным до середины XX в., и рассчитанных для последних 25–29 лет, позволяет сделать выводы о существовании климатических предпосылок смещения границ зоны тайги и ее подзон в северном направлении.

*Ключевые слова:* изменение климата, потепление, температура воздуха, атмосферные осадки, сумма температур воздуха выше 10°С, тайга, Европейская Россия, ландшафтная зона, подзона

**DOI:** 10.31857/S0869607121010055

## ВВЕДЕНИЕ

Изменения климата стали заметными на обширных территориях Евразии и других материков в последние десятилетия. Не обсуждая здесь причины столь масштабных климатических сдвигов, отметим, что проявления их в различных регионах, даже достаточно близких между собой, различаются как по амплитуде, так и по знаку изменений отдельных показателей. Сказанное в полной мере относится к таежной зоне Во-

сточной Европы. Здесь, по крайней мере с середины XX в., происходит потепление, наиболее выраженное в зимний период. При этом величины приращений температур воздуха за последние десятилетия по сравнению с предыдущим периодом осреднения сильно различаются как для разных месяцев года, так и в различных районах таежной зоны. Еще меньше сходства проявляют тренды изменения количества атмосферных осадков, которое в одних районах стабильно повышается, в других – понижается.

На обзорном уровне изменения климата Севера Европейской России рассматривались в работах по изменениям климата СССР и России во второй половине XX в. [2, 4, 5, 6 и др.], изменениям климатических условий Европейской части России [3 и др.]. Более детально изменения климатических характеристик в пределах тайги Восточной Европы (в том числе по данным наблюдений первых десятилетий XXI в.) рассматриваются в работах по Северо-Западному региону России [9], Карелии [8, 10, 11, 14], Финляндии [16], водосбору Белого моря [12], отдельным городам региона [1]. В большинстве указанных источников анализируются в основном показатели температуры воздуха (среднегодовые, январские, июльские) и атмосферных осадков (годовые, теплого и холодного периодов), а также их аномалии – отклонения от средних значений, рассчитанных за определенные (базовые) периоды. В некоторых работах анализируются "сдвиги" среднемноголетних дат перехода температуры воздуха через пороговые значения 0, 5, 10°C. Однако в цитируемых работах почти не рассматриваются многолетние изменения таких интегральных климатических показателей, как сумма средних суточных температур воздуха за период со средней суточной температурой выше +10°C и число дней за год со среднесуточной температурой выше +10°C. Эти параметры отражают теплообеспеченность вегетационного периода, и их направленные изменения могут служить индикаторами сдвигов границ ландшафтных зон и подзон.

Цель настоящей статьи – рассмотреть изменения основных климатических показателей западной части тайги Европейской территории России (ЕТР) за период с 1991 г. по настоящее время, сравнивая их с аналогичными показателями за период 1960–1990 гг. Западная часть тайги ЕТР отличается наиболее выраженными процессами потепления, связанными с потоками тепла со стороны Северной Атлантики. Изменения климатических показателей в период потепления рассматриваются в разрезе трех основных подзон тайги Восточной Европы – северной, средней и южной.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В работе использовались данные гидрометеорологических станций (ГМС), доступ к которым обеспечивает ВНИИГМИ-МЦД [17]. Первоначально рассматривались все содержащиеся в указанной базе данных гидрометеостанции, находящиеся в пределах исследуемого региона – западной части тайги ЕТР (примерно до 47° в.д.): их общее число составило 35. Затем данные ГМС отбирались в зависимости от их полноты, как пояснено ниже. Для сравнения рассматривались также данные нескольких ГМС в северной части зоны подтайги (хвойно-широколиственных лесов) (Псков, Старая Русса).

В качестве основных климатических показателей рассчитаны: среднемесячные температуры воздуха января ($t_I$) и июля ($t_{VII}$), годовые суммы атмосферных осадков (r), годовые суммы среднесуточных температур воздуха, превышающих +10°C ($S_{10}$), количество дней за год со среднесуточной температурой выше +10°C ($N_{10}$). В качестве базового периода для сравнения было выбрано тридцатилетие 1961–1990 гг., а в качестве актуальных значений климатических показателей – данные периода с 1991 г. до того года, за который в указанном источнике имеются полные значения рассматриваемого параметра. Для сумм среднесуточных температур это 2019 г., для среднемесячных температур – 2018 г. Для месячных данных по атмосферным осадкам использовались значения с устраненными систематическими погрешностями; в этом массиве на декабрь

**Таблица 1.** Количество ГМС, использовавшихся для расчета климатических показателей (пояснения обозначений в тексте)
**Table 1.** The number of meteorological stations used to calculate climate indicators (explanation of the indexes in the text)

| Зоны и подзоны в пределах исследуемой территории | Количество ГМС в базе ВНИИГМИ в пределах рассматриваемой территории | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | всего | в том числе использовавшихся для расчетов: | | | | | |
| | | для периода 1961–1990 гг. | | | для периода после 1990 г. | | |
| | | $t_I$, $t_{VII}$ | r | $S_{10}$, $N_{10}$ | $t_I$, $t_{VII}$ | r | $S_{10}$, $N_{10}$ |
| Северная тайга | 10 | 10 | 8 | 10 | 10 | 7 | 10 |
| Средняя тайга | 10 | 10 | 9 | 10 | 10 | 9 | 10 |
| Южная тайга | 13 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 |
| Подтайга | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| **Всего** | **35** | **34** | **30** | **33** | **34** | **29** | **34** |

2020 г. имелись данные только до 2015 г. Для всех рассматриваемых показателей были вычислены изменения значений за период с 1991 г. по сравнению с базовым периодом (соответственно, $dt_I$, $dt_{VII}$, dr, $dS_{10}$, $dN_{10}$).

Данные за пропущенные периоды не восстанавливались; вместо этого, при отсутствии среднемесячных данных за январь и/или июль, соответствующий год полностью отбрасывался. Для подсчетов сумм среднесуточных температур допускался пропуск не более 5 сут (для ГМС, расположенных в подзоне северной тайги) или 10 сут (для остальных территорий) за те периоды, в которые на данной метеостанции когда-либо наблюдались температуры свыше 10°С. В противном случае данные за соответствующий год полностью не учитывались в расчетах.

Для дальнейшей обработки принимались те метеостанции, по которым имелись полные (в указанном выше смысле) данные не менее, чем за 20 лет в каждом из двух периодов (базовом и актуальном). При построении карт сумм среднесуточных температур дополнительно были отброшены также данные нескольких ГМС по причинам, обсуждаемым ниже.

С учетом такого отбора, состав анализируемых метеостанций различался для разных климатических показателей; их количество составляло, в зависимости от показателя, от 29 до 34 (табл. 1).

Изолинии на картах соответствующих показателей строились методом линейного кригинга в программе Surfer v.12.6, карты оформлялись в ГИС Mapinfo v.15.0.

Границы ландшафтных зон и подзон на картах приведены в соответствии с ландшафтной картой из Национального атласа России [13].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 2–4 приведены значения климатических показателей и их изменений по сравнению с базовым периодом, сгруппированные по подзонам тайги. В каждой из таблиц ГМС приведены в порядке убывания широты (с севера на юг).

Рассмотрим тенденции изменения отдельных климатических параметров.

**Средние температуры января** (рис. 1) **и июля** (рис. 2) демонстрируют тенденцию к существенному повышению на всей рассматриваемой территории, причем увеличение зимних температур по сравнению с базовым периодом существенно больше, чем летних (1.8–3.1°С против 0.6–1.5°С соответственно). При этом в районах, прилегающих к Белому морю, повышение зимних температур несколько меньше, а влияние Ладож-

**Таблица 2.** Климатические показатели западной части подзоны северной тайги Европейской России
**Table 2.** Climate indicators of the western part of the northern taiga subzone of European Russia

| ГМС | $t_I$,°C | $dt_I$,°C | $t_{VII}$,°C | $dt_{VII}$,°C | r, мм | dr, мм | $S_{10}$,°C | $dS_{10}$,°C | $N_{10}$ | $dN_{10}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ковдор | −11.3 | 2.6 | 14.4 | 1.0 | 678 | 61 | 1056 | 194 | 74 | 13 |
| Кандалакша | −11.4 | 2.1 | 15.0 | 0.6 | 619 | 45 | 1162 | 129 | 83 | 9 |
| Умба | −9.9 | 2.5 | 14.9 | 0.8 | н/д | н/д | 1182 | 132 | 84 | 9 |
| Гридино | −9.4 | 1.8 | 14.6 | 0.6 | нп/д | нп/д | 1227 | 157 | 86 | 10 |
| Мезень | −13.3 | 2.4 | 15.1 | 0.7 | 685 | 74 | 1152 | 150 | 77 | 10 |
| Калевала | −11.0 | 2.7 | 16.0 | 0.9 | 608 | 17 | 1394 | 169 | 95 | 11 |
| Жижгин | −7.9 | 2.1 | 12.9 | 1.0 | н/д | н/д | 929 | 163 | 72 | 12 |
| Кемь-порт | −9.2 | 2.6 | 14.8 | 0.7 | 567 | 36 | 1279 | 152 | 90 | 10 |
| Койнас | −15.4 | 2.8 | 16.6 | 0.7 | 609 | −51 | 1333 | 139 | 86 | 9 |
| Архангельск | −11.8 | 2.8 | 16.6 | 0.9 | 668 | 47 | 1488 | 159 | 98 | 11 |
| **Среднее** | **−11.0** | **2.4** | **15.1** | **0.8** | **614** | **27** | **1220** | **154** | **85** | **10** |

Обозначения: $\mathbf{t_I}$ – средняя температура января за период 1991–2018 гг. $dt_I$ – изменение средней температуры января за период 1991–2018 гг. по сравнению с периодом 1961–1990 гг. $t_{VII}$ – средняя температура июля за период 1991–2018 гг. $dt_{VII}$ – изменение средней температуры июля за период 1991–2018 гг. по сравнению с периодом 1961–1990 гг. r – среднегодовая сумма атмосферных осадков (с устраненными систематическими погрешностями) за период 1991–2015 гг. dr – изменение среднегодовой суммы атмосферных осадков за период 1991–2015 гг. по сравнению с периодом 1961–1990 гг. $S_{10}$ – среднегодовая сумма среднесуточных температур, превышающих +10°C, за период 1991–2019 гг. $dS_{10}$ – изменение среднегодовой суммы среднесуточных температур, превышающих +10°C, за период 1991–2019 гг. по сравнению с периодом 1961–1990 гг. $N_{10}$ – среднегодовое количество дней со среднесуточной температурой выше +10°C за период 1991–2019 гг. $dN_{10}$ – изменение среднегодового количества дней со среднесуточной температурой выше +10°C, за период 1991–2019 гг. по сравнению с периодом 1961–1990 гг. н/д – нет данных. нп/д – неполные данные

**Таблица 3.** Климатические показатели западной части подзоны средней тайги Европейской России (обозначения см. в табл. 2)
**Table 3.** Climate indicators of the western part of the middle taiga subzone of European Russia (see table 2 for the explanations)

| ГМС | $t_I$,°C | $dt_I$,°C | $t_{VII}$,°C | $dt_{VII}$,°C | r, мм | dr, мм | $S_{10}$,°C | $dS_{10}$,°C | $N_{10}$ | $dN_{10}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Онега | −10.4 | 2.8 | 17.2 | 1.0 | 669 | 22 | 1634 | 193 | 106 | 12 |
| Реболы | −10.2 | 2.7 | 16.7 | 0.9 | 657 | 2 | 1534 | 142 | 103 | 8 |
| Сура | −13.9 | 3.1 | 16.9 | 0.7 | 606 | −11 | 1489 | 141 | 96 | 9 |
| Паданы | −9.5 | 2.7 | 16.6 | 1.0 | н/д | н/д | 1583 | 203 | 106 | 13 |
| Шенкурск | −11.9 | 2.7 | 18.1 | 0.9 | 638 | 0 | 1821 | 190 | 115 | 12 |
| Петрозаводск | −8.6 | 2.9 | 17.2 | 1.2 | 643 | −2 | 1762 | 211 | 116 | 12 |
| Сортавала | −7.3 | 3.0 | 17.6 | 1.1 | 704 | 27 | 1828 | 202 | 120 | 11 |
| Няндома | −11.4 | 2.6 | 17.0 | 1.1 | 833 | 27 | 1617 | 193 | 105 | 12 |
| Каргополь | −10.9 | 2.8 | 17.6 | 1.1 | 705 | −11 | 1776 | 223 | 115 | 13 |
| Котлас | −12.5 | 2.6 | 17.7 | 0.5 | 654 | 30 | 1767 | 148 | 112 | 9 |
| **Среднее** | **−10.7** | **2.8** | **17.3** | **1.0** | **679** | **9** | **1681** | **185** | **109** | **11** |

ского и Онежского озер на динамику этих температур не проявляется. Увеличение летних температур в целом растет с северо-востока на юго-запад рассматриваемой территории.

**Таблица 4.** Климатические показатели западной части подзоны южной тайги и северной части зоны подтайги Европейской России (обозначения см. в табл. 2)
**Table 4.** Climate indicators of the western part of the southern taiga subzone of European Russia (see table 2 for the explanations)

| ГМС | $t_I$,°C | $dt_I$,°C | $t_{VII}$,°C | $dt_{VII}$,°C | r, мм | dr, мм | $S_{10}$,°C | $dS_{10}$, °C | $N_{10}$ | $dN_{10}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Южная тайга | | | | | | | | | | |
| Вытегра | −9.1 | 3.0 | 17.8 | 1.2 | 727 | −11 | 1883 | 206 | 121 | 12 |
| Великий Устюг | −12.5 | 2.5 | 17.9 | 0.7 | 614 | 23 | 1934 | 196 | 123 | 12 |
| Выборг | −6.1 | 2.8 | 18.6 | 1.3 | 771 | −11 | 2083 | 195 | 131 | 9 |
| Санкт-Петербург | −5.0 | 2.9 | 19.2 | 1.5 | 692 | 26 | 2301 | 250 | 142 | 11 |
| Тотьма | −11.1 | 2.8 | 17.9 | 1.2 | 674 | −23 | 1862 | 215 | 118 | 12 |
| Тихвин | −7.6 | 3.1 | 18.1 | 1.5 | 774 | 7 | 2023 | 223 | 129 | 12 |
| Никольск | −11.8 | 2.7 | 18.1 | 1.2 | 677 | 12 | 1902 | 232 | 119 | 12 |
| Бабаево | −8.8 | 3.1 | 17.9 | 1.4 | 657 | −5 | 1952 | 211 | 125 | 11 |
| Белогорка | −6.3 | 2.9 | 17.6 | 1.1 | 704 | −3 | 1982 | 176 | 129 | 10 |
| Вологда | −10.2 | 2.6 | 17.8 | 0.8 | 599 | −53 | 1921 | 147 | 123 | 9 |
| Кологрив | −11.2 | 2.6 | 17.8 | 0.7 | 585 | −74 | 1884 | 146 | 120 | 9 |
| Гдов | −4.8 | 2.6 | 18.3 | 1.2 | 684 | 33 | 2172 | нп/д | 138 | нп/д |
| **Среднее** | **−8.7** | **2.8** | **18.1** | **1.1** | **680** | **−7** | **1992** | **200** | **127** | **11** |
| Подтайга | | | | | | | | | | |
| Старая Русса | −5.6 | 3.0 | 18.8 | 1.4 | 684 | 30 | 2295 | 212 | 144 | 10 |
| Псков | −4.9 | 2.8 | 18.7 | 1.5 | н/д | н/д | 2289 | 209 | 144 | 10 |
| **Среднее** | **−5.2** | **2.9** | **18.7** | **1.5** | **684** | **30** | **2292** | **210** | **144** | **10** |

В зональном разрезе изменение как зимних, так и летних температур увеличивается к югу. Этот вывод совпадает с установленным Л.Е. Назаровой возрастанием интенсивности повышения средней годовой температуры воздуха от более высоких широт к более низким в бассейне Белого моря [12]. Однако интересно отметить, что для большинства ГМС (кроме самых северных) тренды (средние скорости изменения) роста зимних температур были выше в базовом периоде (1961–1990 гг., особенно в конце этого периода), а затем эти скорости снизились, местами демонстрируя обратную тенденцию к понижению температуры. Этот "перелом" трендов наиболее заметен на юге территории. Летние же температуры, наоборот, в последнее тридцатилетие росли, в целом, быстрее, чем в предыдущее. Средние данные по скоростям изменения температур по подзонам тайги и подтайге приведены в табл. 5, а типичный для южной части рассматриваемой территории график изменения температур – на рис. 3.

**Среднегодовые суммы атмосферных осадков** (рис. 4) на рассматриваемой территории изменялись разнонаправленно; амплитуда изменений в актуальном периоде по сравнению с базовым достигает почти 150 мм, причем примерно поровну как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

В целом, в северной и западной части рассматриваемой территории осадки за последние 25 лет преимущественно увеличились, а в юго-восточной части – преимущественно уменьшились. В среднем по всем рассматриваемым ГМС преобладает небольшое увеличение осадков (на 9 мм/год). Число ГМС, на которых в 1991–2015 гг.

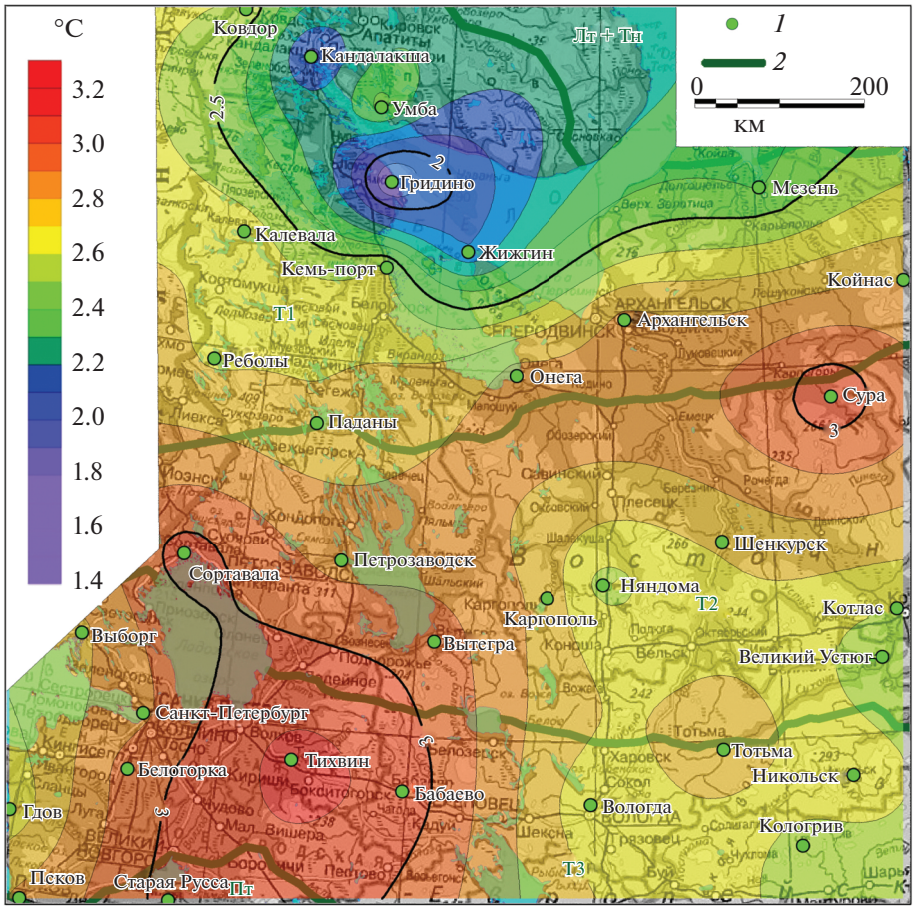


**Рис. 1.** Изменение средних температур воздуха в январе (°С) за период 1991–2018 гг. по сравнению с аналогичным показателем за период 1961–1990 гг. в западной части тайги Европейской России. Условные обозначения: *1* – ГМС, по которым вычислялись значения; *2* – границы ландшафтных зон и подзон. Индексами на карте обозначены: Лт + Тн – лесотундра и тундра; Т1, Т2, Т3 – северная, средняя и южная тайга соответственно; Пт – подтайга.

**Fig. 1**. Change in average air temperatures in January (°C) for the period 1991–2018 compared to the same indicator for the period 1961–1990 in the western part of the taiga of European Russia. Symbols: *1* – meteorological stations, which were used to calculate values; *2* – boundaries of landscape zones and subzones. Indexes on the map indicate: Лт + Тн – forest tundra and tundra; Т1, Т2, Т3 – northern, middle and southern taiga, respectively; Пт – subtaiga (boreonemoral zone).

наблюдалось увеличение осадков по сравнению с 1961–1990 гг., существенно превышает число ГМС с противоположной тенденцией (17 против 11).

Анализ трендов изменения осадков показывает, что в два рассматриваемых периода эти тренды как бы сменяли друг друга в пространстве (табл. 6, рис. 5). Если в базовый период тренды возрастали с севера на юг от отрицательных значений к выраженно положительным, то в актуальный период наблюдается прямо противоположная картина. Можно предположить, что такие изменения являются проявлением какого-то дли-

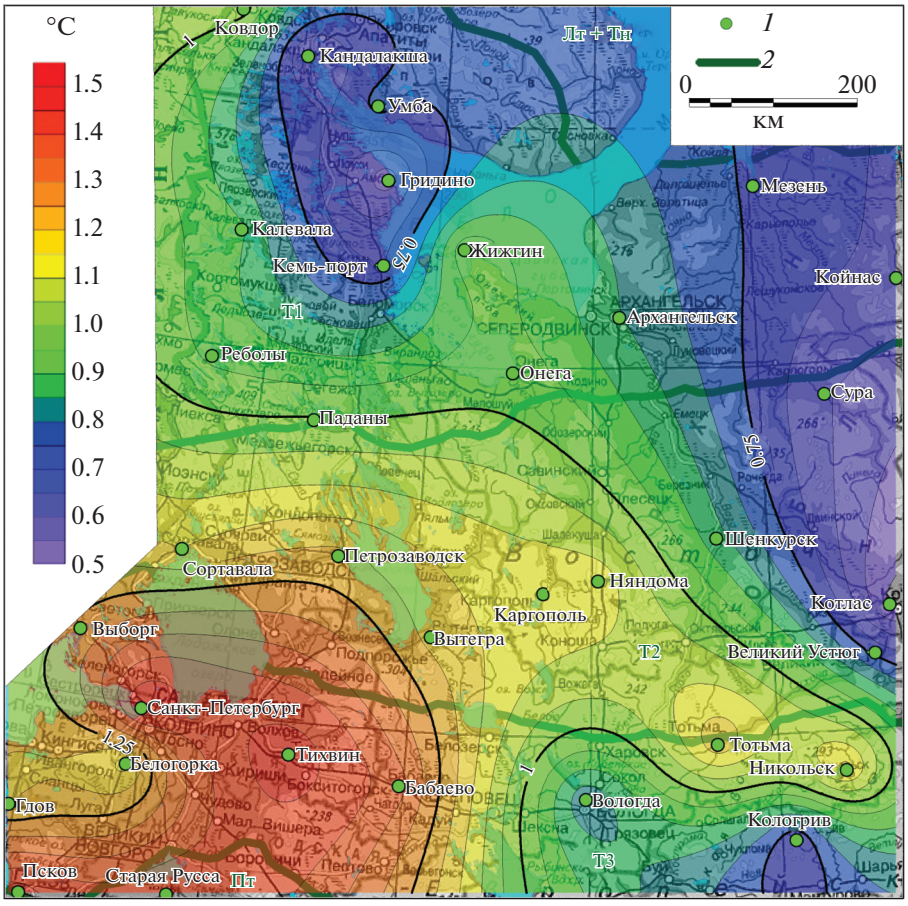


**Рис. 2.** Изменение средних температур воздуха в июле (°C) за период 1991–2018 гг. по сравнению с аналогичным показателем за период 1961–1990 гг. в западной части тайги Европейской России. Обозначения см. на рис. 1.

**Fig. 2**. Change in average air temperatures in July (°C) for the period 1991–2018 compared to the same indicator for the period 1961–1990 in the western part of the taiga of European Russia. See Fig. 1 for the explanations.

тельновременного колебательного процесса, однако для прояснения его характера требуются дополнительные исследования.

**Среднегодовые суммы среднесуточных температур, превышающих +10°C** ($S_{10}$) (рис. 6, 7) существенно выросли по сравнению с базовым периодом на всей рассматриваемой территории. Вырос также и тесно связанный с этой величиной показатель **числа дней со среднесуточными температурами выше +10°C** ($N_{10}$). Как видно из табл. 2–4 и рис. 6, значения $S_{10}$ распределяются в целом широтно: наибольший градиент увеличения в направлении север-северо-восток–юг-юго-запад. Данные двух ГМС существенно отклоняются от этой закономерности (табл. 2, 4). По ГМС Жижгин значение $S_{10}$ существенно ниже среднеширотного за счет островного положения в относительно холодном Белом море, а по ГМС Санкт-Петербург это значение существенно выше средне-

**Таблица 5.** Средние изменения и средние линейные тренды (скорости изменения) среднемесячных температур воздуха в западной части тайги Европейской России по подзонам с разбивкой по периодам наблюдений
**Table 5.** Average changes and average linear trends (rates of change) of average monthly air temperatures in the western part of the taiga of European Russia by subzones, differentiated by the periods of observations

| Зоны и подзоны в пределах исследуемой территории | Средние изменения среднемесячных температур в 1991–2015 гг. по сравнению с 1961–1990 гг., °С | | Средние величины трендов среднемесячных температур, °С/год | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | января | | июля | |
| | января | июля | 1961–1990 гг. | 1991–2018 гг. | 1961–1990 гг. | 1991–2018 гг. |
| Северная тайга | 2.4 | 0.8 | –0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.07 |
| Средняя тайга | 2.8 | 1.0 | 0.01 | –0.01 | 0.02 | 0.07 |
| Южная тайга | 2.8 | 1.1 | 0.06 | –0.05 | 0.02 | 0.06 |
| Север подтайги | 2.9 | 1.5 | 0.11 | –0.11 | 0.02 | 0.06 |

широтного за счет техногенного изменения теплового баланса в мегаполисе, вблизи центра которого и находится данная ГМС. Поэтому данные этих ГМС не учитывались при построении карт и анализе трендов.

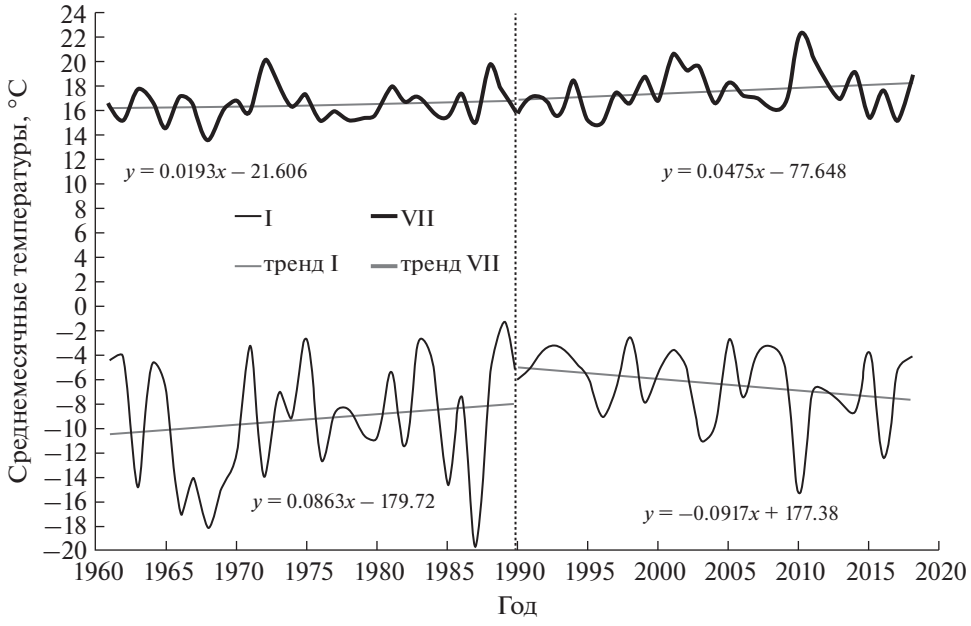


**Рис. 3.** Изменение среднемесячных температур воздуха января (I) и июля (VII) и их линейные тренды (соответственно, тренд I и тренд VII) за периоды 1961–1990 и 1991–2018 гг. по ГМС Белогорка (Ленинградская обл.).
**Fig. 3.** Changes in the average monthly air temperatures of January (I) and July (VII) and their linear trends (trend I and trend VII, respectively) for the periods 1961–1990 and 1991–2018 according to Belogorka meteorological station (Leningrad region).

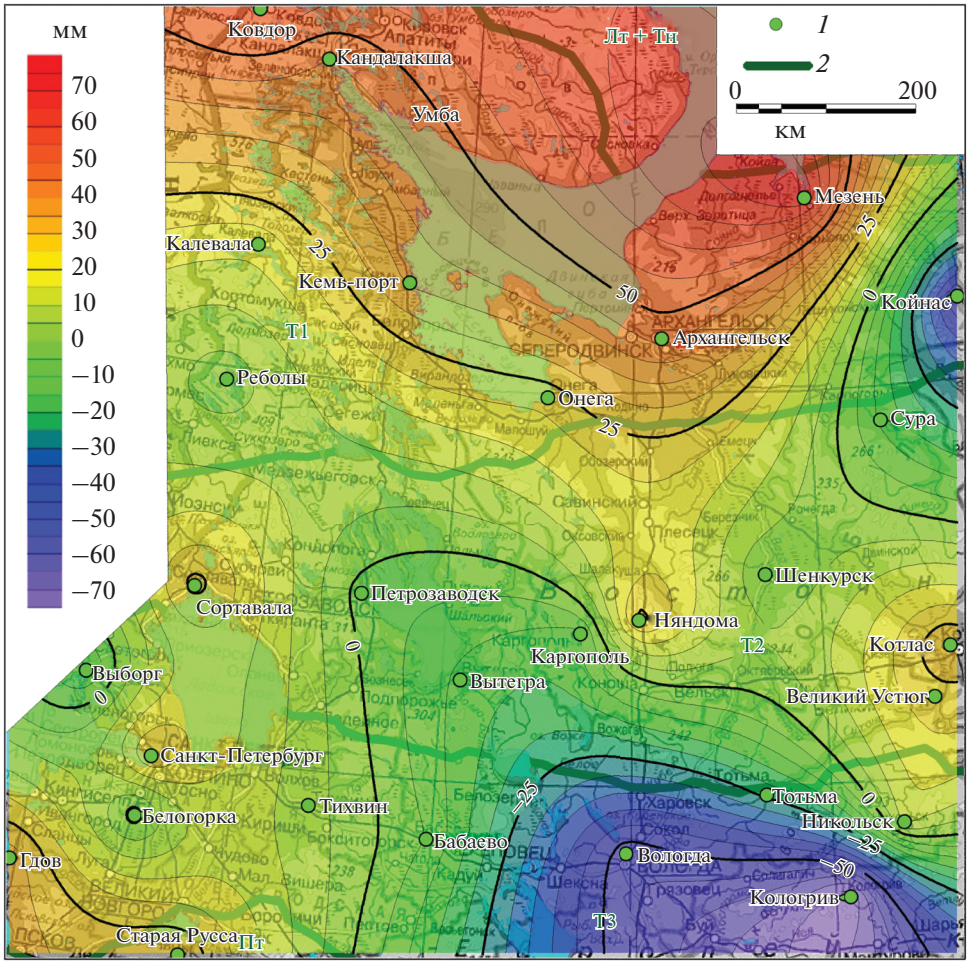


**Рис. 4.** Изменение среднегодовых сумм атмосферных осадков, мм (с устраненными систематическими погрешностями) за период 1991–2015 гг. по сравнению с аналогичным показателем за период 1961–1990 гг. в западной части тайги Европейской России. Обозначения см. на рис. 1.

**Fig. 4.** Change in average annual precipitation sums, mm (with eliminated systematic errors) for the period 1991–2015 compared to the same indicator for the period 1961–1990 yr in the western part of the taiga of European Russia. See Fig. 1 for the explanations.

Широтный характер распределения $S_{10}$ (рис. 6) определяет, в целом, увеличение к югу также и величины изменения этого показателя (рис. 7). Однако можно заметить, что наибольшие величины изменений приходятся на центральную часть рассматриваемой территории.

Анализ трендов показывает, что рост показателей теплообеспеченности резко усилился в период после 1990 г. по сравнению с предыдущим тридцатилетием, когда на севере территории наблюдалось даже некоторое их уменьшение (табл. 7, рис. 8). В базовый период отрицательные тренды показателей теплообеспеченности наблюдались

**Таблица 6.** Средние изменения и средние линейные тренды (скорости изменения) среднегодовых сумм атмосферных осадков в западной части тайги Европейской России по подзонам с разбивкой по периодам наблюдений
**Table 6.** Average changes and average linear trends (rates of change) of average annual precipitation sums in the western part of the taiga of European Russia by subzones, differentiated by the periods of observations

| Зоны и подзоны в пределах исследуемой территории | Средние изменения среднегодовых сумм атмосферных осадков в 1991–2018 гг. по сравнению с 1961–1990 гг., мм | Средние величины трендов среднегодовых сумм атмосферных осадков, мм/год | |
|---|---|---|---|
| | | 1961–1990 гг. | 1991–2015 гг. |
| Северная тайга | 33 | –0.7 | 1.3 |
| Средняя тайга | 9 | 0.2 | 0.1 |
| Южная тайга | –7 | 1.9 | 0.0 |
| Север подтайги | 30 | 2.9 | –0.9 |

более, чем на половине ГМС (17 из 33), а за период после 1990 г. отрицательный тренд этих показателей не наблюдался ни на одной ГМС. Типичный для северной части рассматриваемой территории график изменения показателей теплообеспеченности приведен на рис. 8.

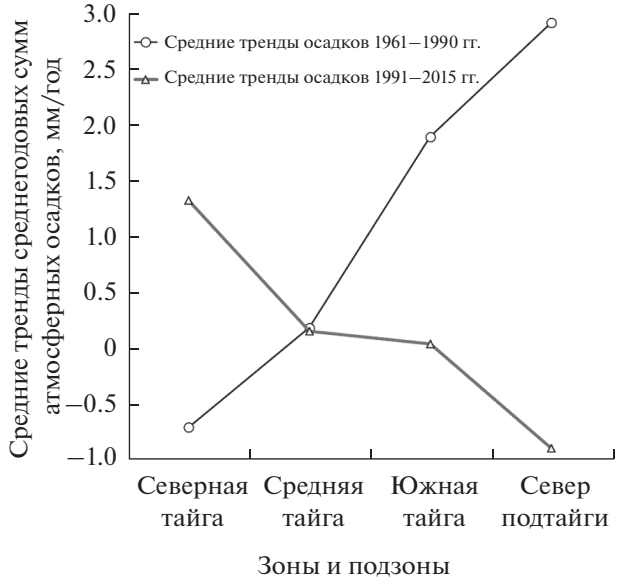


**Рис. 5.** Средние линейные тренды (скорости изменения) среднегодовых сумм атмосферных осадков в западной части тайги Европейской России по подзонам по периодам наблюдений.
**Fig. 5**. Average linear trends (rates of change) of average annual precipitation sums in the western part of the taiga of European Russia by subzones, differentiated by the periods of observations.

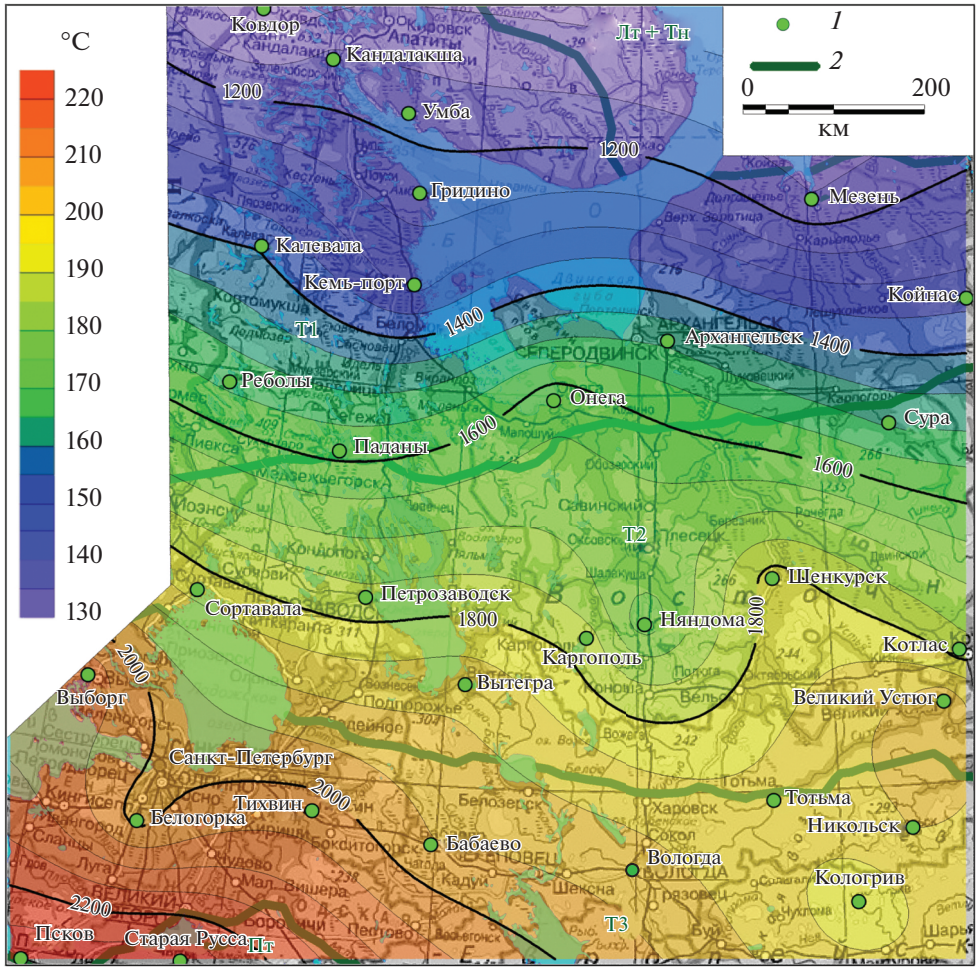


**Рис. 6.** Среднегодовые суммы среднесуточных температур, превышающих +10°С, за период 1991–2019 гг., °С, в западной части тайги Европейской России. Обозначения см. на рис. 1.

**Fig. 6**. Average annual sums of average daily temperatures exceeding +10°C for the period 1991–2019 yr, °C, in the western part of the taiga of European Russia. See Fig. 1 for the explanations.

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования по данным 35 ГМС, расположенных в западной части таежной зоны Европейской России, показывают тенденцию к повышению температур воздуха на всей рассматриваемой территории за период после 1991 г. по сравнению с периодом 1960–1990 гг., причем увеличение зимних температур существенно больше, чем летних. Среднегодовые суммы атмосферных осадков на территории изменялись разнонаправленно: в северной и западной ее части за последние 25 лет они преимущественно увеличились, а в юго-восточной части – преимущественно уменьшились. На всей рассматриваемой территории существенно выросло по сравнению с базовым периодом суммы среднесуточных температур, превышающих +10°С, и количество дней со среднесуточными температурами выше +10°С.

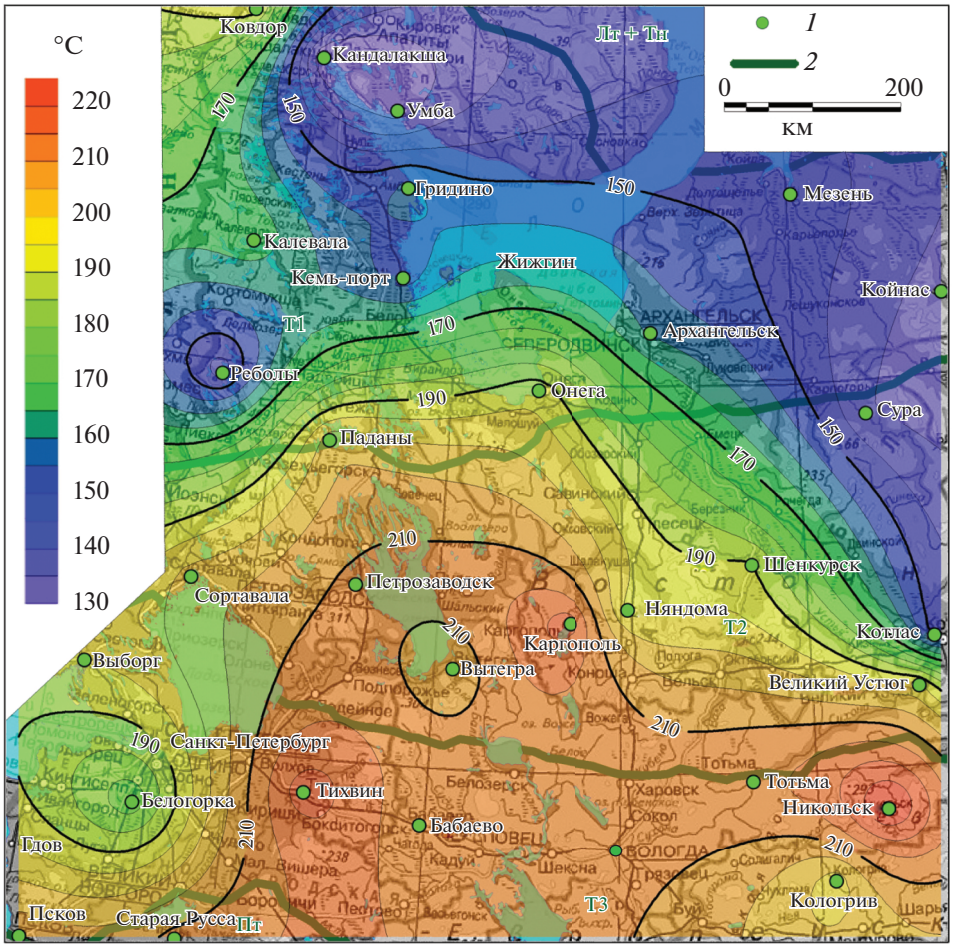


**Рис. 7.** Изменение среднегодовых сумм среднесуточных температур, превышающих +10°С, за период 1991–2019 гг., по сравнению с аналогичным показателем за период 1961–1990 гг., °С, в западной части тайги Европейской России. Обозначения см. на рис. 1.

**Fig. 7**. Change in the average annual sums of average daily temperatures exceeding +10°C for the period 1991–2019, compared with the same indicator for the period 1961–1990 yr, °C, in the western part of the taiga of European Russia. See Fig. 1 for the explanations.

Сопоставление диапазонов показателей теплообеспеченности, установленных для подзон западной части тайги ЕТР по гидрометеоданным, полученным до середины XX в. [7, 16], и рассчитанных нами для последних 25–29 лет (табл. 8), позволяет сделать выводы о существовании климатических предпосылок смещения границ зоны тайги и ее подзон в северном направлении. Территория, относимая в большинстве схем районирования к южной тайге, в настоящее время по теплообеспеченности соответствует подтайге, относимая к средней тайге – имеет близкие к южнотаежным показатели сумм температур выше +10°С и летние температуры воздуха. Южная часть

**Таблица 7.** Средние изменения и средние линейные тренды (скорости изменения) показателей теплообеспеченности в западной части тайги Европейской России по подзонам с разбивкой по периодам наблюдений. Пояснения обозначений в тексте

**Table 7.** Average changes and average linear trends (rates of change) of heat supply indicators in the western part of the taiga of European Russia by subzones, differentiated by the periods of observations. Explanation of the indexes in the text.

| Зоны и подзоны в пределах исследуемой территории | Средние изменения в 1991–2019 гг. по сравнению с 1961–1990 гг. | | Средние величины трендов | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $N_{10}$, дней/год | | $S_{10}$,°C/год | |
| | $N_{10}$, дней | $S_{10}$, °C | 1961–1990 гг. | 1991–2019 гг. | 1961–1990 гг. | 1991–2019 гг. |
| Северная тайга | 10.5 | 154 | –0.14 | 0.66 | 0.1 | 10.8 |
| Средняя тайга | 11.1 | 185 | –0.08 | 0.56 | 0.2 | 10.6 |
| Южная тайга | 10.7 | 200 | 0.05 | 0.55 | 1.5 | 10.9 |
| Север подтайги | 9.7 | 210 | 0.27 | 0.46 | 4.6 | 10.2 |

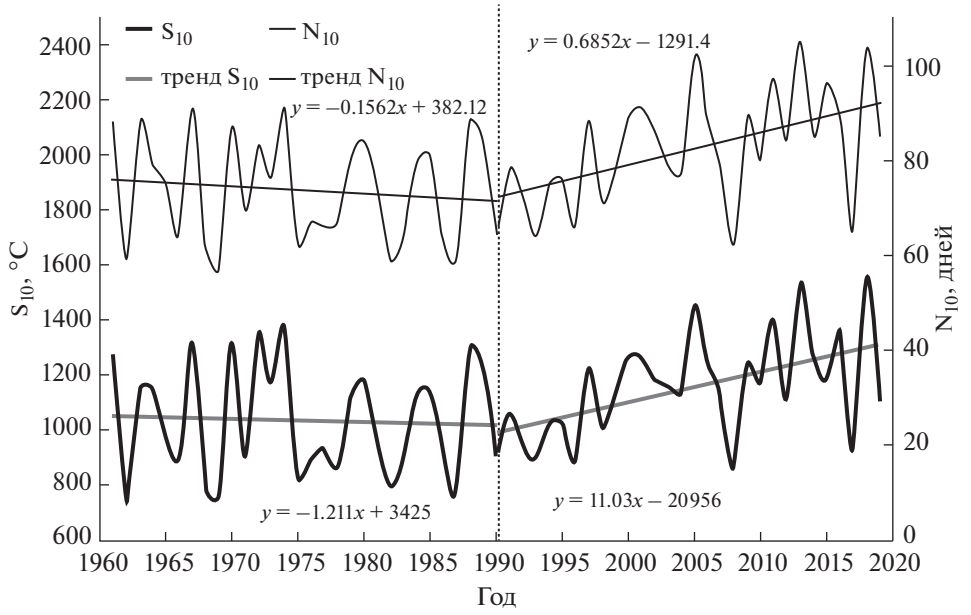


**Рис. 8.** Изменение показателей теплообеспеченности: среднегодовых сумм среднесуточных температур, превышающих +10°C ($S_{10}$), и числа дней со среднесуточными температурами выше +10°C ($N_{10}$) и их линейные тренды (соответственно, тренд $S_{10}$ и тренд $N_{10}$) за периоды 1961–1990 и 1991–2019 гг. по ГМС Кандалакша (Мурманская обл.).

**Fig. 8**. Changes in heat supply indicators: average annual sums of average daily temperatures exceeding +10°C ($S_{10}$) and the number of days with average daily temperatures above +10°C ($N_{10}$) and their linear trends (trend $S_{10}$ and trend $N_{10}$, respectively) for the periods 1961–1990 and 1991–2019 yr according to the Kandalaksha meteorological station (Murmansk region).

**Таблица 8.** Сопоставление показателей теплообеспеченности подзон тайги Европейской России по данным до середины XX в. (по [7, 16]) и на конец XX–начало XXI вв. (расчеты авторов)
**Table 8**. Comparison of heat supply indicators of taiga subzones of European Russia according to the mid-twentieth century data (according to [7, 16]) and the end of XX–beginning of XXI century data (calculations of the authors)

| Зоны и подзоны тайги ЕТР (по [13]) | Средняя температура июля, °С | | Сумма среднесуточных температур, превышающих +10°С | |
|---|---|---|---|---|
| | до 1960 г. | после 1991 г. | до 1960 г. | после 1991 г. |
| Северная тайга | 12.5–16.0 | 14.5–16.5 | 1000–1350 | 1050–1500 |
| Средняя тайга | 15.5–17.0 | 16.5–18.0 | 1350–1650 | 1500–1850 |
| Южная тайга | 16.5–18.0 | 17.5–19.0 | 1650–1900 | 1850–2200 |
| Подтайга | 17.0–18.5 | >18.5 | 1900–2100 | >2250 |

подзоны северной тайги (примерно до широты 64.5°) по показателям теплообеспеченности в настоящее время соответствует средней тайге.

Исследования, положенные в основу настоящей статьи, проведены при поддержке гранта РФФИ № 19-05-01003.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бойцов В.Д.* Изменчивость климата Великого Новгорода за последние 120 лет // Изве. РГО. 2019. Т. 151. Вып. 6. С. 35–45.
2. Глобальные изменения климата и их последствия для России: сборник / Под ред. Г.С. Голицина, Ю.А. Израэля. М., 2002. 466 с.
3. *Груза Г.В., Ранькова Э.Я.* Изменение климатических условий европейской части России во второй половине XX века // Влияние изменений климата на экосистемы. М., 2001. С. 9–16.
4. *Груза Г.В., Ранькова Э.Я.* Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ФГБХ "ВНИИГМИ-МЦД", 2012. 194 с.
5. *Груза Г.В., Бардин М.Ю., Ранькова Э.Я. и др.* Об изменениях температур воздуха и атмосферных осадков на территории России в XX веке // Состояние и комплексный мониторинг природной среды и климата. Пределы изменений / Ред. Ю.А. Израэль. М., 2001. С. 18–40.
6. *Ефимова Н.А., Строкина Л.А., Байкова И.М., Малкова И.В.* Изменения основных элементов климата на территории СССР в 1967–1990 гг. // Метеорология и гидрология. 1996. № 4. С. 34–41.
7. *Исаченко А.Г.* Ландшафты СССР. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1985. 320 с.
8. Климат Карелии: изменчивость и влияние на водные объекты / Отв. ред. Н.Н. Филатов. Петрозаводск, 2004. 224 с.
9. *Кобак К.И., Кондрашева Н.Ю., Лугина К.М.* и др. Анализ многолетних метеорологических наблюдений в Северо-Западном регионе России // Метеорология и гидрология. 1999. № 1. С. 30–38.
10. *Назарова Л.Е.* Многолетние изменения температуры воздуха в Карелии // География и природ. Ресурсы. 2008. № 3. С. 75–79.
11. *Назарова Л.Е.* Изменчивость средних многолетних значений температуры воздуха в Карелии // Изв. РГО. 2014. Т. 146. Вып. 4. С. 27–33.
12. *Назарова Л.Е.* Современные климатические условия водосбора Белого моря // Изв. РГО. 2017. Т. 149. Вып. 5. С. 16–24.
13. Национальный атлас России. М.: Роскартография, 2004–2008. Т. 2. С. 398–399.
14. *Филатов Н.Н., Назарова Л.Е., Сало Ю.А., Семенов А.В.* Динамика и прогноз изменения климата Восточной Фенноскандии // Гидроэкологические проблемы Карелии и использование водных ресурсов. Петрозаводск, 2003. С. 33–40.
15. *Цинзерлинг Ю.Д.* География растительного покрова Северо-Запада Европейской части СССР Вып. 4. Л.: Изд-во АН СССР, 1934. 377 с.

16. Finland's Fifth National Communication under the United Nations Framework Conventions on climate change. Helsinki, 2010. 282 p.
17. URL: http://meteo.ru/data (дата обращения: 10.12.2020).

## Changes in the Climatic Characteristics of the Western Taiga of European Russia in the Late XX–Early XXI Centuries

**A. I. Reznikov[1, *] and G. A. Isachenko[1, **]**

[1]*Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia*
**E-mail: ar1725.2@gmail.com*
***E-mail: greg.isachenko@gmail.com*

Changes of the main climatic indicators of the western part of the East-European taiga (boreal zone) for the period from 1991 to the present time in comparison with the same indicators for the period 1960–1990 are considered, according to 35 meteorological stations data: mean monthly air temperatures of January and July, annual precipitation, annual sums of average daily air temperatures exceeding +10°C, number of days per year with average daily temperature above +10°C. For all the indicators under consideration, changes of the values for the period since 1991 compared to the base period were calculated; linear trends and average rates of change of indicators in the base and current periods are established. Changes in climate indicators are considered in the context of three main subzones of the taiga of Eastern Europe – northern, middle and southern. A significant increase in air temperatures over the entire territory under consideration for the period after 1991 compared to the period 1960–1990 was revealed, and the increase in winter temperatures is significantly greater than in summer. The average annual sums of atmospheric precipitation in the considered territory varied in different directions: in the northern and western parts, they mainly increased over the past 25 years, and in the south-eastern part, they mainly decreased. On the whole territory, the sum of average daily temperatures exceeding +10°C increased significantly and the number of days with average daily temperatures above +10°C as well. Comparison of the ranges of heat supply indicators established for the subzones of the western part of the taiga of the European Russia based on meteorological data obtained before the middle of the XX century and calculated for the last 25–29 years allows us to draw conclusions about the existence of climatic prerequisites for shifting the boundaries of the taiga zone and its subzones in the northern direction.

*Keywords:* climate change, warming, air temperature, precipitation, sum of air temperatures above 10°C, taiga, European Russia, landscape zone, subzone

## REFERENCES

1. *Bojczov V.D.* Izmenchivost' klimata Velikogo Novgoroda za poslednie 120 let // Izv. RGO. 2019. T. 151. vyp. 6. S. 35–45.
2. Global'nye izmeneniya klimata i ih posledstviya dlya Rossii: sbornik / Pod red. G.S. Golicina, Yu.A. Izraelya. M., 2002. 466 c.
3. *Gruza G.V., Ran'kova E.Ya.* Izmenenie klimaticheskih uslovij evropejskoj chasti Rossii vo vtoroj polovine XX veka // Vliyanie izmenenij klimata na ekosistemy. M., 2001. S. 9–16.
4. *Gruza G.V., Ran'kova E.Ya.* Nablyudaemye i ozhidaemye izmeneniya klimata Rossii: temperatura vozduha. Obninsk: FGBX "VNIIGMI-MCzD", 2012. 194 s.
5. Gruza G.V., Bardin M.Yu., Ran'kova E.Ya. i dr. Ob izmeneniyah temperatur vozduha i atmosfernyh osadkov na territorii Rossii v XX veke // Sostoyanie i kompleksny`j monitoring prirodnoj sredy i klimata. Predely izmenenij / Red. Yu.A. Izrael'. M., 2001. S. 18–40.
6. Efimova N.A., Strokina L.A., Bajkova I.M., Malkova I.V. Izmeneniya osnovnyh elementov klimata na territorii SSSR v 1967–1990 gg. // Meteorologiya i gidrologiya. 1996. № 4. S. 34–41.
7. Isachenko A.G. Landshafty SSSR. L.: Izd-vo Leningr. un-ta, 1985. 320 s.
8. Klimat Karelii: izmenchivost' i vliyanie na vodnye ob''ekty / Otv. red. N.N. Filatov. Petrozavodsk, 2004. 224 s.
9. Kobak K.I., Kondrasheva N.Yu., Lugina K.M. i dr. Analiz mnogoletnih meteorologicheskih nablyudenij v Severo-Zapadnom regione Rossii // Meteorologiya i gidrologiya. 1999. № 1. S. 30–38.

10. Nazarova L.E. Mnogoletnie izmeneniya temperatury vozduha v Karelii // Geografiya i prirod. Resursy. 2008. № 3. S. 75–79.
11. Nazarova L.E. Izmenchivost' srednih mnogoletnih znachenij temperatury vozduha v Karelii // Izv. RGO. 2014. T. 146. vyp. 4. S. 27–33.
12. Nazarova L.E. Sovremennye klimaticheskie usloviya vodosbora Belogo morya / Izv. RGO. 2017. T. 149. vyp. 5. S. 16–24.
13. Nacional'nyj atlas Rossii. M.: Roskartografiya, 2004–2008. T. 2. S. 398–399.
14. Filatov N.N., Nazarova L.E., Salo Yu.A., Semenov A.V. Dinamika i prognoz izmeneniya klimata Vostochnoj Fennoskandii // Gidroekologicheskie problemy Karelii i ispol'zovanie vodnyh resursov. Petrozavodsk, 2003. S. 33–40.
15. Cinzerling Yu.D. Geografiya rastitel'nogo pokrova Severo-Zapada Evropejskoj chasti SSSR. Vyp. 4. L.: Izd-vo AN SSSR, 1934. 377 s.
16. Finland's Fifth National Communication under the United Nations Framework Conventions on climate change. Helsinki, 2010. 282 p.
17. URL: http://meteo.ru/data (data obrashheniya: 10.12.2020).