

## *Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение*

УДК 551.524;551.345

<https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-1-60-68>

Оригинальная статья

### **Температурный режим холодного периода в Арктической зоне Якутии за 1960–2022 гг.**

**М. С. Васильев<sup>✉,1,2</sup>, А. Н. Петрова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация

<sup>2</sup>Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация

<sup>✉</sup>[vms\\_1984@mail.ru](mailto:vms_1984@mail.ru)

#### **Аннотация**

Наблюдаемые изменения в Арктике имеют глобальные последствия. Рост температуры воздуха и изменение холодного периода в целом могут оказать влияние на уязвимую экосистему с многолетнемерзлой литогенной основой Арктической зоны Якутии. Приведены результаты исследований по установлению дат начала и окончания холодного периода весной и осенью в двух многолетних периодах (1961–1990 и 1991–2022 гг.) северо-западной и северо-восточной частей Арктической зоны Якутии с расчетом разности температур и скорости изменения ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет) за 1960–2022 гг. Использованы метеорологические ряды по данным ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»: ст. Оленек (Оленекский район), ст. Жиганск (Жиганский), ст. Чокурдах (Аллаиховский) и ст. Среднеколымск (Среднеколымский). Установлено, что за 1991–2022 гг. в северо-западной части Арктической зоны Якутии наблюдалось сокращение холодного периода – раннее наступление весны (май: ст. Оленек – на 4 сут., ст. Жиганск – на 6 сут.), а на северо-востоке – позднее наступление осени (сентябрь: ст. Чокурдах и ст. Среднеколымск – на 3 сут.). В целом, в апреле разность средней температуры воздуха между 1961–1990 гг. и 1991–2022 гг. на всех рассматриваемых станциях выше, чем в октябре, – исключением является ст. Чокурдах (октябрь – 2,6, апрель – 2,1  $^{\circ}\text{C}$ ). Скорость изменения температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет) за 1960–2022 гг. в начале холодного периода (октябрь) была выше на северо-востоке Якутии (ст. Среднеколымск – 0,7  $^{\circ}\text{C}/10$  лет, ст. Чокурдах – 0,8  $^{\circ}\text{C}/10$  лет). В середине (январь – 1,1  $^{\circ}\text{C}/10$  лет) и конце (апрель – 1,0  $^{\circ}\text{C}/10$  лет) холодного периода максимальная скорость изменения температуры воздуха отмечена на северо-западе Якутии по данным ст. Оленек. Исследование необходимо для верификации и подбора репрезентативных климатических моделей, анализа пространственно-временной изменчивости холодного периода, прогноза и вклада в общую дисперсию температуры грунтов.

**Ключевые слова:** Арктическая зона Якутии, температура воздуха и грунтов, температурный режим, холодный период, разность и скорость изменения температуры воздуха, Якутия

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках базового бюджетного проекта Института мерзлотоведения им П.И. Мельникова СО РАН по теме «Криогенные процессы и формирование природных рисков освоения мерзлотных ландшафтов Восточной Сибири» (рег. № 122011400152-7).

**Для цитирования:** Васильев М.С., Петрова А.Н. Температурный режим холодного периода в Арктической зоне Якутии за 1960–2022 гг. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2024;29(1):60–68. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-1-60-68>

Original article

### **Temperature regime of the cold period in the Arctic zone of Yakutia for 1960–2022**

**Mikhail S. Vasiliev<sup>✉,1,2</sup>, Aleksandra N. Petrova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

<sup>✉</sup>[vms\\_1984@mail.ru](mailto:vms_1984@mail.ru)

#### **Abstract**

Changes in the Arctic have global consequences. An increase in air temperature and a change in the cold period can affect vulnerable ecosystems with a permafrost lithogenic base in the Yakutia Arctic region. In this study, we specified the dates

of the beginning and end of the cold period in spring and autumn for two multi-year periods (1961–1990 and 1991–2022) of the northwestern and northeastern parts of the Arctic zone in Yakutia. We calculated the temperature difference and rate of change ( $^{\circ}\text{C}/10$  years) for 1960–2022. We used meteorological series according to the “RIHMI-WDC” data: st. Olenek (Oleneksky ulus), st. Zhigansk (Zhigansky) st. Chokurdakh (Allaikhovskiy) and st. Srednekolymsk (Srednekolymskiy). For the period 1991–2022 in the northwestern part of the Arctic zone in Yakutia, a reduction in the cold period was observed due to an earlier onset in spring (May: 4 days at Olenek station and 6 days at Zhigansk station) and in the northeastern part - later autumn (September: 3 days at Chokurdakh and Srednekolymsk stations). The results of our study indicate that in April, the difference in the average air temperature between 1961 and 1990 and 1991–2022 at all stations is higher than in October. The only exception is the information obtained according to st. Chokurdakh (October– $2.6^{\circ}\text{C}$ , April– $2.1^{\circ}\text{C}$ ). The rate of change in air temperature ( $^{\circ}\text{C}/10$  years) for the period 1960–2022 at the beginning of the cold period (October), it manifested itself to a greater extent in the northeast of Yakutia (Srednekolymsk station –  $0.7^{\circ}\text{C}/10$  years, Chokurdakh –  $0.8^{\circ}\text{C}/10$  years). In the middle (January –  $1.1^{\circ}\text{C}/10$  years) and the end (April –  $1.0^{\circ}\text{C}/10$  years) of the cold period, the maximum rate of air temperature change was noted in the north-west of Yakutia according to the data of st. Olenek. This study is necessary for the verification and selection of representative climate models, the analysis of the spatiotemporal variability of the cold period, and the forecasting and contribution to the overall dispersion of soil temperature.

**Keywords:** Arctic zone of Yakutia, air and soil temperature, temperature regime, cold period, difference and rate of air temperature change, Yakutia

**Funding.** This study was supported by basic budgeted project “Cryogenic processes and the formation of natural risks in the development of permafrost landscapes in Eastern Siberia” (reg. No. 122011400152-7).

**For citation:** Vasiliev M.S., Petrova A.N. Temperature regime of the cold period in the Arctic zone of Yakutia for 1960–2022. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2024;29(1):60–68. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-1-60-68>

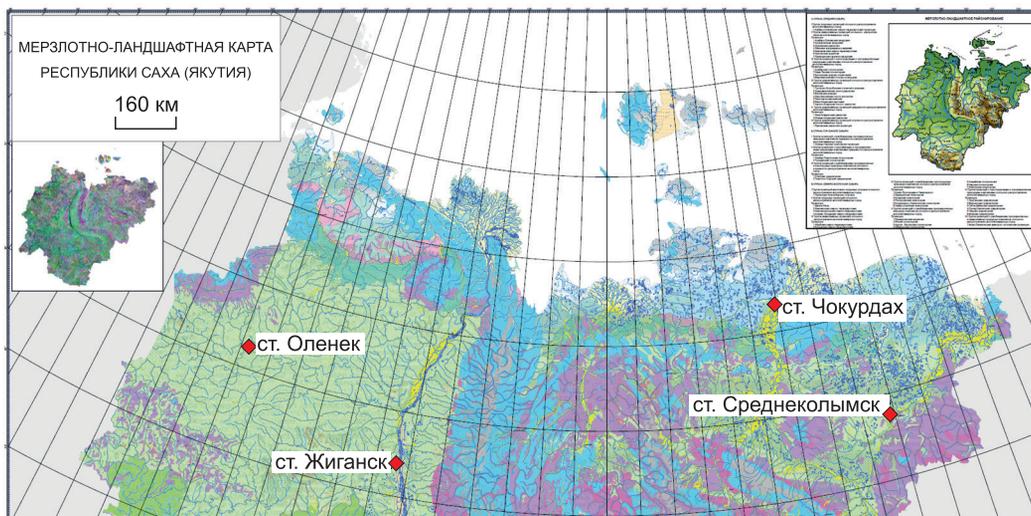
## Введение

Климатически территория Арктической зоны Якутии представлена арктическим и субарктическим типами климата [1, 2]. На островах и побережье Северного Ледовитого океана под влиянием арктических воздушных масс формируется арктический океанический климат с долгой, холодной зимой (средняя температура января  $-30 \dots -35^{\circ}\text{C}$ ) и коротким, прохладным летом (средняя температура июля  $+5 \dots +10^{\circ}\text{C}$ ). Несмотря на небольшое годовое количество осадков (до 200 мм), для данной территории вследствие низкой испаряемости характерно избыточное увлажнение, что вызывает заболоченность грунтов. В субарктическом климатическом поясе летом господствуют умеренные воздушные массы, зимой – арктические. Зимы местами значительно суровее, чем в арктическом климате (средняя температура января  $-45^{\circ}\text{C}$  и ниже), лето существенно теплее (средняя температура июля  $+12^{\circ}\text{C} \dots +15^{\circ}\text{C}$ ). По сравнению с арктическим климатическим поясом примерно вдвое (до 400 мм и более) увеличиваются осадки с выраженным летним максимумом, а их годовое количество превышает величину испаряемости.

Среднегодовые температуры воздуха растут быстрыми темпами в Арктической зоне России. Например, рост среднегодовой температуры в Азиатской части России (побережье Северного Ледовитого океана) за 1976–2021 гг. составил от  $+0,8$  до  $+1,1^{\circ}\text{C}/10$  лет на Таймыре и побережье Восточно-Сибирского моря [3]. Рост температу-

ры воздуха может, в целом, оказать влияние на уязвимую экосистему с многолетнемерзлой литогенной основой Арктической зоны Якутии. Однако по своей физической сущности многолетнемерзлые породы – это устойчивая природная система, в глубь которой различные колебания поверхностных условий распространяются неглубоко (медленно) и быстро затухают [4]. С ростом температуры приземного слоя атмосферы следует опасаться перехода температуры поверхностных мерзлых пород в область положительных значений и, как следствие, увеличения слоя летнего оттаивания грунтов и/или начала протаивания многолетнемерзлых пород сверху [5]. В [6] показан и охарактеризован комплекс проблем, связанных с изменением климата и его последствиями. В [7] предполагается, что изменения комплекса метеорологических параметров на региональном уровне и атмосферной циркуляции вносят решающий вклад в динамику температуры почвогрунтов и сезонного протаивания в разные интервалы времени.

Криолитозона (территория с распространением многолетнемерзлых грунтов) является одним из ключевых элементов природной среды Арктики, в которой сосредоточены минерально-сырьевые ресурсы. Наблюдаемые изменения климата, в том числе увеличение температуры, в совокупности влияют на несущую способность многолетнемерзлых грунтов, что негативно сказывается на инфраструктуре в целом [8–10]. С увеличением температуры и таянием многолетнемерзлых



**Рис. 1.** Фрагмент мерзлотно-ландшафтной карты Республики Саха (Якутия) [13] с метеорологическими станциями Оленек, Жиганск, Чокурдах, Среднеколымск. В верхнем правом углу – карта мерзлотно-ландшафтного районирования по различным группам провинций распространения многолетнемерзлых пород

**Fig. 1.** A fragment of the permafrost-landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia) [13] with the location of the northwestern meteorological stations – Olenek, Zhigansk and the northeastern ones – Chokurdakh, Srednekolymsk. In the upper right corner is a map of permafrost-landscape zoning for various groups of permafrost provinces

грунтов связаны деструктивные и опасные процессы: термокарстовые просадки, береговая эрозия, оползни, заболачивание, гибель лесных массивов, формирование и исчезновение озер.

Для оценки процессов, происходящих в Арктической зоне Якутии, необходим комплексный анализ пространственно-временной динамики температуры воздуха и грунтов, а также ее влияния на состояние транспортной инфраструктуры, в том числе сезонных автомобильных дорог (автозимники), сроки (открытие, закрытие, грузоподъемность) ледовых переправ [11]. Например, разрушение покрытия автодорог может быть связано с повышением температуры воздуха в холодный период года и частыми переходами через  $0^{\circ}\text{C}$ .

Цель работы – выявление дат начала и окончания холодного периода весной и осенью в двух многолетних периодах (1961–1990 и 1991–2022 гг.) для северо-западной и северо-восточной частей Арктической зоны Якутии с расчетом разности температур и скорости изменения ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет) за 1960–2022 гг.

### Материалы и методы исследования

Для выявления изменений, происходящих в холодный период в Арктической зоне Республики Саха (Якутия), проанализированы метеорологические ряды по данным Всероссийского на-

учно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», <http://meteo.ru/>) – метеостанциям, находящимся в ведении Якутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ФГБУ «Якутское УГМС», <https://yakuthydromet.ru/>): ст. Оленек (Оленекский район), ст. Жиганск (Жиганский), ст. Чокурдах (Аллаиховский) и ст. Среднеколымск (Среднеколымский) [12].

Метеостанции (рис. 1) расположены в северо-западной части Якутии с незначительными возвышенностями Среднесибирского плоскогорья (ст. Оленек и ст. Жиганск) и северо-восточной – за хребтами Верхоянский и Черского (ст. Чокурдах и ст. Среднеколымск). Северо-западные станции Оленек и Жиганск относятся к группам северотаежных (Оленекская увалистая) и средне-таежных (Вилуйская аласная) провинций сплошного распространения многолетнемерзлых пород, соответственно. Северо-восточные станции Чокурдах и Среднеколымск относятся к группам тундровых (Нижнеиндигирская озерно-термокарстовая) и северо-таежных (Колымская озерно-термокарстовая) провинций сплошного распространения многолетнемерзлых пород соответственно [13].

В настоящее время нет единого критерия для определения холодного периода (полугодия). Для

анализа термического режима холодного периода необходима его интерпретация. По методике, принятой в Главной Геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (<http://voeikovmgo.ru/>) [1], чаще всего за холодный период принимают отрезок времени со среднесуточной температурой ниже 0 °С. Но, например, для европейской территории России, где переходный период может быть продолжительным, возникают сложности с определением даты устойчивого перехода через 0 °С. В условиях арктического и субарктического климата изменение температуры в переходные сезоны имеет четкую направленность в сторону роста весной и спада осенью, что упрощает задачу определения даты начала и окончания холодного периода.

Многолетние периоды для анализа климатических характеристик (периоды, в которых средняя величина метеоэлемента получена статистически из многолетнего ряда наблюдений в данной местности) – 1961–1990 и 1991–2022 гг. выбраны согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации (ВМО), расчет климатических норм ведется путем усреднения

за период 30 лет. На 16-й сессии ВМО в 2014 г. было решено, что промежуток 1961–1990 гг. остается базовым и стабильным периодом, который необходимо обновлять каждые 10 лет. В настоящей работе многолетний период климата 1991–2020 гг. увеличен до 1991–2022 гг.

### Результаты и обсуждение

В районах Якутии, включенных в АЗРФ, холодный период длится с конца сентября по май, причем в последние десятилетия происходит сокращение его продолжительности (табл. 1). Исходя из рассматриваемых периодов (1961–1990 и 1991–2022 гг.) можно отметить, что на северо-западе Арктической зоны Якутии (станции Оленек, Жиганск) сокращение холодного периода происходит за счет более раннего наступления положительных температур весной (май), а на северо-востоке (станции Чокурдах Среднеколымск) – более позднего наступления холодов осенью (сентябрь). Например, в районе национального природного парка «Ленские столбы», расположенного в Хангаласском улусе Республики Саха (Якутия) в 104 км от г. Покровск (61°29' с.ш.

Таблица 1

**Даты начала и окончания холодного периода по метеостанциям**

Table 1

**Dates of the beginning and end of the cold period according to weather stations**

Метеостанция	Координаты: широта/долгота	Первый день с температурой ≤ 0 °С		Последний день с температурой ≤ 0 °С	
		1961–1990 гг.	1991–2022 гг.	1961–1990 гг.	1991–2022 гг.
Оленек	68°30'/112°26'	24 сент.	25 сент.	23 мая	19 мая
Жиганск	66°46'/123°24'	26 сент.	27 сент.	11 мая	5 мая
Чокурдах	70°37'/147°53'	20 сент.	23 сент.	29 мая	27 мая
Среднеколымск	67°27'/153°43'	26 сент.	29 сент.	13 мая	12 мая

Таблица 2

**Среднее значение разности температуры (°С)  
между 1961–1990 и 1991–2022 гг. по метеостанциям**

Table 2

**Average temperature difference (°C)  
between 1961–1990 and 1991–2022 by weather stations**

Метеостанции	Октябрь	Январь	Апрель	Холодный период (октябрь–апрель)
Оленек	1,5	3,6	3,0	2,0
Жиганск	0,9	2,4	2,5	1,3
Чокурдах	2,6	1,2	2,1	1,7
Среднеколымск	2,1	0,7	2,8	0,8

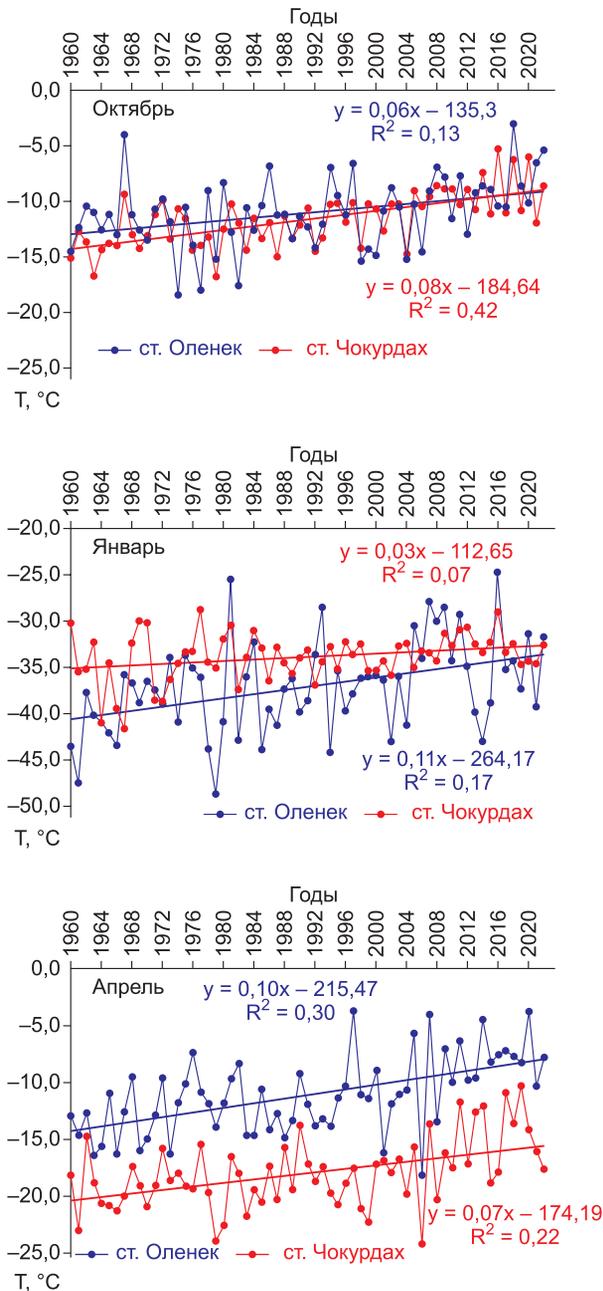


Рис. 2. Среднемесячная температура воздуха по данным ст. Оленек и ст. Чокурдах за 1960–2022 гг.

Fig. 2. The average monthly air temperature according to st. Olenyok and st. Chokurdakh for the period 1960–2022

129°09' в.д. – умеренный климатический пояс), за 1961–2020 гг. происходило сокращение продолжительности холодного периода за счет более раннего перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С весной (апрель) [14].

Для оценки изменения температурного режима в холодный период (октябрь–апрель – с учетом среднесуточной температуры воздуха за весь

месяц  $\leq 0$  °С) между 1961–1990 гг. и 1991–2022 гг. проведены расчеты средних значений разности температуры в октябре, январе и апреле (табл. 2). В целом температура холодного периода (октябрь–апрель 1960–2022 гг.) повысилась, а среднее значение разности температур колеблется в пределах от 0,8 (ст. Среднеколымск) до 2,0 °С (ст. Оленек). В январе изменение разности среднего значения температуры воздуха между рассматриваемыми периодами больше выражено на северо-западе (ст. Оленек – 3,6 °С), для сравнения, на ст. Среднеколымск (северо-восток) разность составила 0,7 °С.

Наибольшие изменения в температурном режиме между двумя рассматриваемыми периодами наблюдаются в апреле. В целом в апреле разность средней температуры воздуха между 1961–1990 и 1991–2022 гг. на всех рассматриваемых станциях выше, чем в октябре, за исключением ст. Чокурдах (октябрь – 2,6, апрель – 2,1 °С). Предполагаем, что в температурном режиме Арктической зоны Якутии (рис. 2) с положительной тенденцией роста проявляются территориальные различия, определяемые региональными особенностями атмосферной циркуляции, характером рельефа, близостью и/или удаленностью от Северного Ледовитого океана и т. п. [15].

Скорость изменения температуры воздуха (°С/10 лет) за 1960–2022 гг. в начале холодного периода (октябрь) выше на северо-востоке Якутии (табл. 3). В середине (январь) и конце (апрель) холодного периода максимальная скорость изменения температуры воздуха за рассматриваемый период наблюдается на северо-западе Якутии по данным ст. Оленек.

Увеличение температуры воздуха в холодный период приводит к большему изменению температуры грунта, чем в теплый (значительная часть тепла уходит на фазовые переходы при его оттаивании, а не на нагревание). Связано это с тем, что коэффициент теплопроводности мерзлого грунта зимой выше (отсутствуют также сезонно-талый слой и затраты тепла на фазовые переходы), чем талого. В [16] по ряду станций сети Росгидромета за 1966–2012 гг. показан вклад температуры воздуха и суммы осадков холодного периода в общую дисперсию среднегодовой температуры грунтов на глубине 160 см (рис. 3). В настоящей работе подобный анализ не проведен, так как по имеющейся информации («ВНИИГМИ-МЦД») на рассматриваемых метеорологических станциях (температура грун-

тов до глубины 320 см) нет существенных (временных) изменений по набору данных – в наличии промежуточные данные до 2014 г.

Видно (см. рис. 3, а), что на территории Восточной Сибири, вклад изменений температуры воздуха (холодный период) в температуру грунтов на глубине 160 см составляет 5–15 %, а на большей части Республики Саха (Якутия), в том числе в Арктической зоне – 5–9 %.

В [17] для северных территорий России (рис. 4) проведен анализ изменения продолжительности ледовых явлений, ледостава и максимальной толщины льда по сценарию модели RCP 8.5 (использованы элементы зависимостей ледового режима от суммы отрицательных температур воздуха, характеристик оттепелей и количества твердых осадков) к концу XXI века.

Согласно этому сценарию, в Арктической зоне Якутии ожидается уменьшение продолжительности ледостава на 30–40 сут. с максимальным проявлением в северо-восточной части.

В дальнейшем планируется подбор репрезентативных климатических моделей [18, 19] в Арктической зоне Якутии для анализа (с применением комплекса абиотических факторов неживой природы) пространственно-временной изменчивости температурного режима холодного периода с выявлением причинно-следственных связей, прогноза и вклада в общую дисперсию среднегодовой температуры грунтов.

### Заключение

Установлено, что за 1991–2022 гг. в северо-западной части Арктической зоны Якутии наблюдалось сокращение холодного периода за счет более раннего наступления тепла (май: ст. Оленек – на 4 сут., ст. Жиганск – на 6 сут.), а на северо-востоке – более позднего наступления холодов осенью (сентябрь: ст. Чокурдах и ст. Среднеколымск – на 3 сут.).

Таблица 3  
Скорость изменения температуры воздуха (°C/10 лет) за 1960–2022 гг. по метеостанциям

Table 3  
The rate of change in air temperature (°C/10 years) for the period 1960–2022 by weather stations

Метеостанция	Октябрь	Январь	Апрель
Оленек	0,6	1,1	1,0
Жиганск	0,4	0,5	0,8
Чокурдах	0,8	0,4	0,8
Среднеколымск	0,7	0,3	0,9

В целом результаты исследования указывают, что в апреле разность средней температуры воздуха между 1961–1990 и 1991–2022 гг. на всех рассматриваемых станциях выше, чем в октябре, за исключением ст. Чокурдах (октябрь – 2,6, апрель – 2,1 °C). Предполагаем, что в температурном режиме Арктической зоны Якутии проявляются территориальные различия, определяемые региональными особенностями атмосферной циркуляции, характером рельефа, близостью и/или удаленностью от Северного Ледовитого океана и т.п.

Скорость изменения температуры воздуха (°C/10 лет) за 1960–2022 гг. в начале холодного периода (октябрь) была выше на северо-востоке Якутии (ст. Среднеколымск – 0,7, ст. Чокурдах – 0,8 °C/10 лет). В середине (январь – 1,1 °C/10 лет)

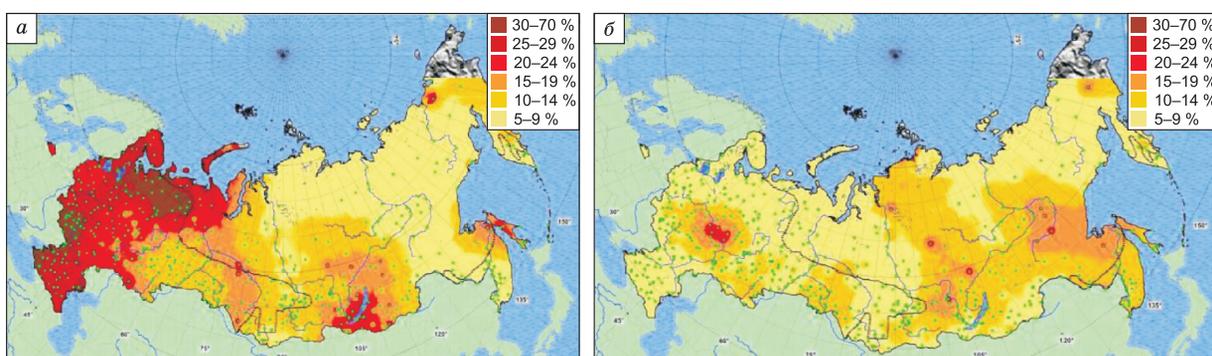
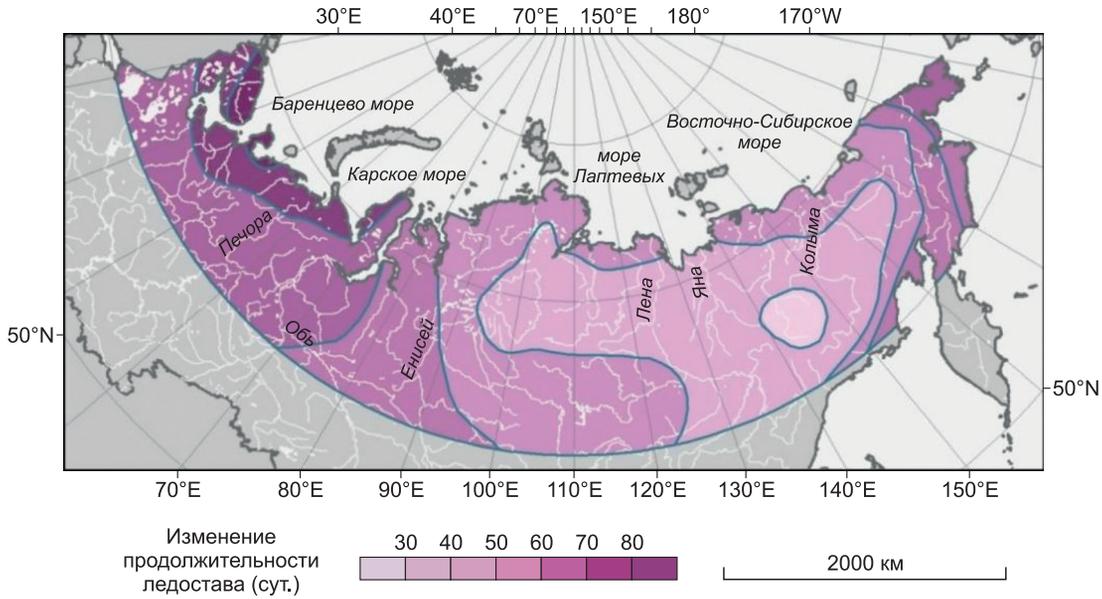


Рис. 3. Вклад температуры воздуха (а) и суммы осадков (б) холодного периода в общую дисперсию среднегодовой температуры грунтов на глубине 160 см в России за 1966–2012 гг. Источник [16]

Fig. 3. The contribution of air temperature (a) and total precipitation (b) of the cold period to the total dispersion of the average annual soil temperature at a depth of 160 cm in Russia for the period 1966–2012. Source [16]



**Рис. 4.** Оценка изменения продолжительности ледостава к концу XXI века (сценарий RCP 8.5) по сравнению с 1986–2005 гг. Расчеты проводились по сетке с пространственным разрешением 1,75° широты и долготы. Источник [17]

**Fig. 4.** Estimation of a change in the duration of the ice cover period (days) by the end of the 21st century in comparison with the period of 1986–2005. The calculations were carried out on a grid with a spatial resolution of 1,75° latitude and longitude. Source [17]

и конце (апрель – 1,0 °C/10 лет) холодного периода максимальная скорость изменения температуры воздуха отмечена на северо-западе Якутии по данным ст. Оленек.

#### Список литературы / References

1. Кобышева Н.В., Акентьева Е.М., Богданова Э.Г. и др. *Климат России*. СПб.: Гидрометеиздат; 2001. 654 с.

Kobysheva N.V., Akent'eva E.M., Bogdanova E.G., et al. *Climate of Russia*. St. Petersburg: Gidrometeoizdat; 2001. 654 p. (In Russ.)

2. Сорокина В.Н., Гущина Д.Ю. *География климатов*. М.: Издательство Московского университета; 2006. 68 с.

Sorokina V.N., Gushchina D.Yu. *Geography of climates*. Moscow: Moscow University Publishing House; 2006. 68 p. (In Russ.)

3. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. М.; 2022:104. <https://www.meteorf.gov.ru/images/news/20220324/4/Doklad.pdf> (дата обращения 01.09.2023).

A report on climate features in the territory of the Russian Federation in 2021. Moscow. 2022:104. (In Russ.). <https://www.meteorf.gov.ru/images/news/20220324/4/Doklad.pdf> (accessed 01.09.2023)

4. Шац М.М., Скачков Ю.Б. Кому выгодны страшилки о причинах «глобального потепления климата». *Климат и природа*. 2021;4(41):13–25.

Shats M.M., Skachkov Yu.B. Who benefits from horror stories about the causes of «global warming». *Climate and nature*. 2021;4(41):13–25. (In Russ.)

5. Шац М.М., Скачков Ю.Б. Последствия динамики современного климата Севера для многолетнемерзлых пород. *Известия Алтайского отделения Русского географического общества*. 2017;3(46):38–53.

Shats M.M., Skachkov Yu.B. Consequences of the dynamics of the modern climate of the North for permafrost. *Izvestia of the Altai Branch of the Russian Geographical Society*. 2017;3(46):38–53. (In Russ.)

6. Шац М.М., Скачков Ю.Б. Мнимые и реальные природные проблемы при адаптации к изменениям климата. *Климат и природа*. 2021;1(38):5–24.

Shats M.M., Skachkov Yu.B. Imaginary and real natural problems in adapting to climate change. *Climate and nature*. 2021;1(38):5–24. (In Russ.)

7. Шерстюков А.Б., Шерстюков Б.Г. Пространственные особенности и новые тенденции в изменениях термического состояния почвогрунтов и глубины их сезонного протаивания в зоне многолетней мерзлоты. *Метеорология и гидрология*. 2015;2:5–12.

Sherstyukov A.B., Sherstyukov B.G. Spatial features and new trends in changes in the thermal state of soils and the depth of their seasonal thawing in the permafrost zone. *Meteorology and hydrology*. 2015;2:5–12. (In Russ.)

8. Хрусталева Л.Н., Пармузин С.Ю., Емельянова Л.В. *Надежность северной инфраструктуры в условиях меняющегося климата*. М.: Университетская книга; 2011. 260 с.

Khrustalev L.N., Parmuzin S.Yu., Emelyanova L.V. *Reliability of northern infrastructure in a changing climate*. Moscow: Universitetskaya kniga; 2011. 260p. (In Russ.)

9. Streletskiy D.A., Shiklomanov N.I., Nelson F.E. Permafrost, infrastructure and climate change: A GIS-based landscape approach to geotechnical modeling. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*. 2012;44;3:368–380.

10. Streletskiy D.A., Anisimov O.A. Vasiliev A.A. *Permafrost degradation*. In: Haeblerli W. and Whiteman C. (eds.). *Snow and Ice-Related Risks, Hazards and Disasters*. Oxford: Elsevier. 2014:303–344.

11. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. СПб.; 2017:106. <https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/klim-riski-2017.pdf> (дата обращения 01.09.2023).

Report on climate risks in the Russian Federation. *Saint Petersburg*. 2017:106. (In Russ.). <https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/klim-riski-2017.pdf> (accessed 01.09.2023)

12. ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Специализированные массивы данных для климатических исследований [Электронный ресурс]. <http://aisori-m.meteo.ru/> (дата обращения 01.09.2023).

[RIHMI-WDC. *Specialized data arrays for climate research [Electronic resource]*. (In Russ.). URL: <http://aisori-m.meteo.ru/> (accessed 01.09.2023)].

13. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1: 1 500 000. Федоров А.Н., Торговкин Я.И., Шестакова А.А. и др.; гл. ред. М.Н. Железняк. Якутск: ИМЗ СО РАН; 2018. <https://mpi.ysn.ru/images/mlk20182.pdf> (дата обращения 01.09.2023).

*Permafrost-landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia)*. Scale 1: 1 500 000. Fedorov A.N., Torgovkin Ya.I., Shestakova A.A. et al. Ch. ed. M.N. Zheleznyak. Yakutsk: MPI SB RAS; 2018. (In Russ.). URL: <https://mpi.ysn.ru/images/mlk20182.pdf> (accessed 01.09.2023)

14. Петрова А.Н., Ефимова Ю.В., Шишкина Т.Р. Особенности термического режима холодного полугодия в районе национального парка «Ленские столбы». В кн.: *Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ: Сборник тезисов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета., Санкт-Петербург, 22-24 октября 2020 г.* СПб.; 2020. С. 224–226.

Petrova A.N., Efimova Yu.V., Shishkina T.R. Features of the thermal regime of the cold half-year in the area of the Lena Pillars National Park. In: *Modern problems of hydrometeorology and environmental monitoring in the*

*CIS: Collection of abstracts of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 90th anniversary of the Russian State Hydrometeorological University*. 2020:224–226. (In Russ.)

15. Васильев М.С., Николашкин С.В. Исследование проявления солнечно-земных связей на приземную температуру воздуха в Якутии по данным метеорологических станций. *Наука и образование*. 2014; 2(74):124–130.

Vasiliev M.S., Nikolashkin S.V. Study of the manifestation of solar-terrestrial relations on the surface air temperature in Yakutia according to the data of meteorological stations. *Nauka i Obrazovanie*. 2014;2(74):124–130. (In Russ.)

16. Анисимов О.А., Жирков А.Ф., Шерстюков А.Б. Современные изменения криосферы и природной среды в Арктике. *Арктика XXI век. Естественные науки*. 2015;2(3):24–47.

Anisimov O.A., Zhirkov A.F., Sherstyukov A.B. Modern changes in the cryosphere and natural environment in the Arctic. *Arctic XXI century. Natural Sciences*. 2015;2(3):24–47. (In Russ.)

17. Agafonova S.A., Frolova N.L., Surkova S.V., Koltermann K.P. Modern characteristics of the ice regime of Russian arctic rivers and their possible changes in the 21st century. *Geography, Environment, Sustainability*. 2017;10(4):4–15. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2017-10-4-4-15>.

18. Васильев М.С., Николашкин С.В., Каримов Р.Р. Сравнение приземной температуры воздуха в Якутии по данным реанализа и наземных наблюдений. *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова*. 2014;11(6):82–88.

Vasiliev M.S., Nikolashkin S.V., Karimov R.R. Comparison of surface air temperature in Yakutia according to reanalysis and ground-based observations. *Vestnik of North-Eastern Federal University*. 2014;11(5):19–29. (In Russ.)

19. Тананаев Н.И. Подбор оптимальной модели климатического реанализа по среднегодовой температуре воздуха для территории Республики Саха (Якутия). *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Науки о Земле*. 2023;2(30):88–101.

Tananaev N.I. Selection of the optimal climate reanalysis model based on the average annual air temperature for the territory of the Republic of Sakha (Yakutia). *Vestnik of North-Eastern Federal University. Series: Earth Sciences*. 2023;30(2):88–101. (In Russ.)

### Об авторах

**ВАСИЛЬЕВ Михаил Семенович**, кандидат географических наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-0542-9813>, ResearcherID: AAY-5159-2020, Scopus Author ID: 56513537700, SPIN: 3954-6428, e-mail: vms\_1984@mail.ru

*М. С. Васильев, А. Н. Петрова • Температурный режим холодного периода в Арктической зоне Якутии...*

**ПЕТРОВА Александра Николаевна**, научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-0809-1045>, e-mail: [aleksandrap@mpi.ysn.ru](mailto:aleksandrap@mpi.ysn.ru)

*About the authors*

**VASILIEV, Mikhail Semenovich**, Cand. Sci. (Geography), Senior Researcher, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-0542-9813>, ResearcherID: AAY-5159-2020, Scopus Author ID: 56513537700, SPIN: 3954-6428, e-mail: [vms\\_1984@mail.ru](mailto:vms_1984@mail.ru)

**PETROVA, Aleksandra Nikolaevna**, Researcher, Laboratory of Cryogenic Landscapes, <https://orcid.org/0000-0002-0809-1045>, e-mail: [aleksandrap@mpi.ysn.ru](mailto:aleksandrap@mpi.ysn.ru)

*Поступила в редакцию / Submitted 04.09.2023*

*Поступила после рецензирования / Revised 27.09.2023*

*Принята к публикации / Accepted 16.01.2024*