

УДК 902.674

## ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ТЕПЛОГО СЕЗОНА В ПРЕДЕЛАХ МАТЕРИКОВОЙ ЧАСТИ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ В ТЕЧЕНИЕ ПОСЛЕДНИХ 500 ЛЕТ

© 2018 г. Юрий М. Кононов

*Институт географии РАН, Москва, Россия  
E-mail: jukon02@mail.ru*

Поступила в редакцию 07.03.2017 г.

**Аннотация.** Палеоклиматические реконструкции выполнены по древесно-кольцевым хронологиям, данные которых находятся в открытом доступе (*International tree ring data bank*). Для анализа были выбраны хронологии, располагающиеся в непосредственной близости от северной границы леса, где климатический сигнал наиболее выражен. Индивидуальные древесно-кольцевые хронологии объединены в пять региональных (Кольский п-ов, п-ов Ямал, п-ов Таймыр, устье р. Лена, устье р. Индигирка). Во всех исследуемых регионах летние температуры воздуха на протяжении XX в. были выше средних значений за последние 500 лет. Вместе с тем, в отдельных районах (Кольский полуостров, устья рек Лены и Индигирки) в течение XVI–XIX вв. имели место короткие (20–30 лет) периоды потепления, значения летних температур которых можно сопоставить с современными. А в устье р. Лена температуры летних месяцев в начале XVIII в. были даже выше, чем в инструментальный период. Кроме того, в указанных районах скорости повышения температур в XX в. не превышали аналогичные показатели доиндустриального периода. Сопоставление климатических изменений с динамикой солнечной активности показало, что минимум Маундера отчетливо проявляется только на западе Евразии (Кольский п-ов). Минимум Дальтона фиксируется во всех исследуемых районах. В целом можно сказать, что такой климатообразующий фактор как солнечная активность не являлся доминирующим в температурном режиме теплых сезонов на севере Евразии на протяжении последних 500 лет.

**Ключевые слова:** Палеоклиматическая реконструкция, древесно-кольцевые хронологии, малый ледниковый период, глобальное потепление, Северная Евразия.

DOI: 10.7868/S258755661802005X

## REGIONAL FEATURES OF THE WARM SEASON TEMPERATURE REGIME WITHIN THE CONTINENTAL PART OF THE RUSSIAN ARCTIC DURING THE LAST 500 YEARS

Yury M. Kononov

*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
E-mail: jukon02@mail.ru*

Received March 23, 2017

**Abstract.** Paleoclimatic reconstruction carried out using tree-ring chronology, whose data are deposited in the International Tree-Ring Data Bank (ITRDB). Chronologies are located in the immediate vicinity of the northern latitudinal timberline, where the climatic signal is most represented. Individual tree-ring chronologies are combined into five regional (Kola Peninsula, Yamal Peninsula, Taimyr Peninsula, Lena River mouth, Indigirka River mouth). In all the study regions summer temperatures during the 20th century have been higher than the average value for 500 years. However, in some areas (Kola Peninsula, the mouth of the rivers Lena and Indigirka) for 16–19th centuries there were short warming periods (20–30 years), the summer air temperatures of which can be compared with the modern. And in the Lena River mouth the summer temperature at the beginning of the 18th century were even higher than in the instrumental period. In addition, in these areas, speed of increasing temperatures in the 20th century is not higher than in pre-industrial period. Comparison

of climate change with the dynamics of solar activity showed that the Maunder minimum is clearly evidenced only in the west of Eurasia (Kola Peninsula). The Dalton minimum is fixed in all investigated areas. In general, it can be said that such a climate-forming factor as solar activity was not dominant in the temperature regime of warm seasons in the north of Eurasia for the past 500 years.

**Keywords:** paleoclimatic reconstruction, tree-ring chronologies, Little Ice Age, global warming, Northern Eurasia.

**Введение.** Климатические изменения фиксируются инструментальными наблюдениями в течение последних 150 лет. Согласно преобладающему мнению международных экспертов [13], на протяжении XX и начала XXI вв. глобальный климат имеет ярко выраженную тенденцию к потеплению.

В то же время, из-за пространственной неравномерности распределения метеостанций сохраняется актуальность оценки региональных особенностей поведения климатической системы [1, 3, 4]. Кроме того, для изучения межвековых особенностей климатических изменений достоверных инструментальных наблюдений недостаточно и особую роль приобретают природные индикаторы динамики климата такие как: ледниковые керны, древесные кольца, озерные осадки, захороненная пыльца растений и др. Выполненные на их основе реконструкции позволяют продолжить современные инструментальные данные наблюдений за климатом на сотни и тысячи лет в прошлое.

Древесные кольца относятся к группе “природных архивов”, содержащих палеоклиматическую информацию высокого временного разрешения, но выгодно отличаются от остальных своей относительной доступностью. Согласно классическим представлениям в дендроклиматологии на

северной и высотной границах ареалов древесных растений главным лимитирующим фактором является температурный режим. Соответственно с помощью древесных колец можно получить палеоклиматические реконструкции температуры воздуха [2, 6, 7, 18].

**Методы и материалы.** В работе использовался материал (древесные керны и спилы), собранный как непосредственно автором в ходе полевых экспедиций в рамках выполнения различных национальных и международных проектов, так и из открытых источников, в первую очередь, из Международного банка древесных колец – ITRDB [12, 16, 17, 18, 20, 21]. Для исследования были отобраны коллекции, включающие данные о ширине годовых колец (табл. 1).

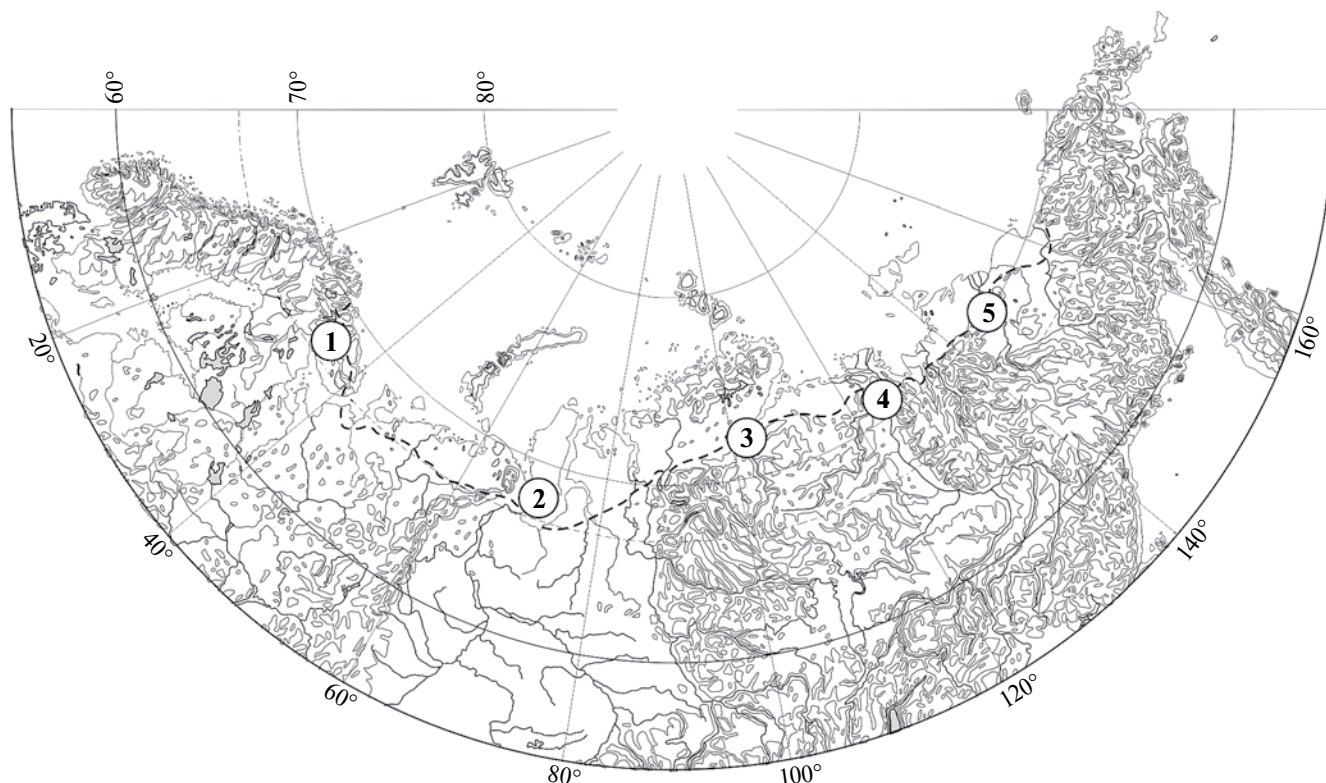
Все хронологии располагаются в непосредственной близости от северной границы леса (рис. 1), следовательно, можно было ожидать, что климатический сигнал здесь будет представлен особенно сильно. Каждая локальная хронология представляет набор индивидуальных серий и выражена в виде временного ряда.

Весь массив данных индивидуальных измерений древесных колец был обработан в соответствии со

**Таблица 1.** Древесно-кольцевые хронологии и их характеристики

№	Район	Порода (вид)	Расположение		Период	Источники
			широта	долгота		
1	Кольский полуостров	<i>Pinus sylvestris</i>	67°38'–67°50'	33°13'–34°15'	821–2005	[18] [21]
2	полуостров Ямал	<i>Larix sibirica</i>	67°32'	69°54'	750–2005	[12]*
3	полуостров Таймыр	<i>Larix gmelinii</i>	72°01'	102°00'	755–1997	[17] *
4	устье р. Лена	<i>Larix gmelinii</i>	70°40'	125°52'	1405–1994	[20] *
5	устье р. Индигирка	<i>Larix gmelinii</i>	67°27'–70.33'	142°37'–150°17'	1342–1994	[16] *

\* Данные о ширине годовых колец доступны на сайте Международного банка древесных колец – ITRDB (<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/tree-ring>).



**Рис. 1.** Районы исследований: 1 – Кольский полуостров, 2 – полуостров Ямал, 3 – полуостров Таймыр, 4 – устье р. Лена, 5 – устье р. Индигирка.

Прерывистой линией отмечена северная граница леса.

стандартными дендрохронологическими и дендроклиматическими методиками [15, 22].

Для выделения климатического сигнала во временных сериях ширины древесных колец использовались данные инструментальных измерений на метеостанциях, расположенных вблизи районов

исследований (табл. 2). Временные серии ширины древесных колец, совпадающие с периодом инструментальных наблюдений совмещались со значениями температуры воздуха разных месяцев и строилась функция отклика, т.е. распределение коэффициентов корреляции по месяцам (рис. 2).

**Таблица 2.** Метеостанции и их характеристики\*

№	Район	Название станции	Расположение		Период	Индекс ВМО
			широта	долгота		
1	Кольский полуостров	Апатиты (Хибины)	67°43'	33°15'	1901–2016	22213
2	полуостров Ямал	Салехард	66°32'	66° 41'	1882–2016	23330
3	полуостров Таймыр	Хатанга	71°59'	102°28'	1933–2016	20891
4	устье р. Лена	Тикси	71°35'	128°55'	1932–2016	21824
5	устье р. Индигирка	Чокурдах	70°37'	147°53'	1939–2016	21946

\* Данные измерений температуры воздуха на метеостанции Апатиты (Хибины) были получены в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ФГБУ “ГГО”). Метеоданные по другим станциям доступны на сайте Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации–Мирового центра данных (ФГБУ-ВНИИГМИ-МЦД – <http://www.meteo.ru>).

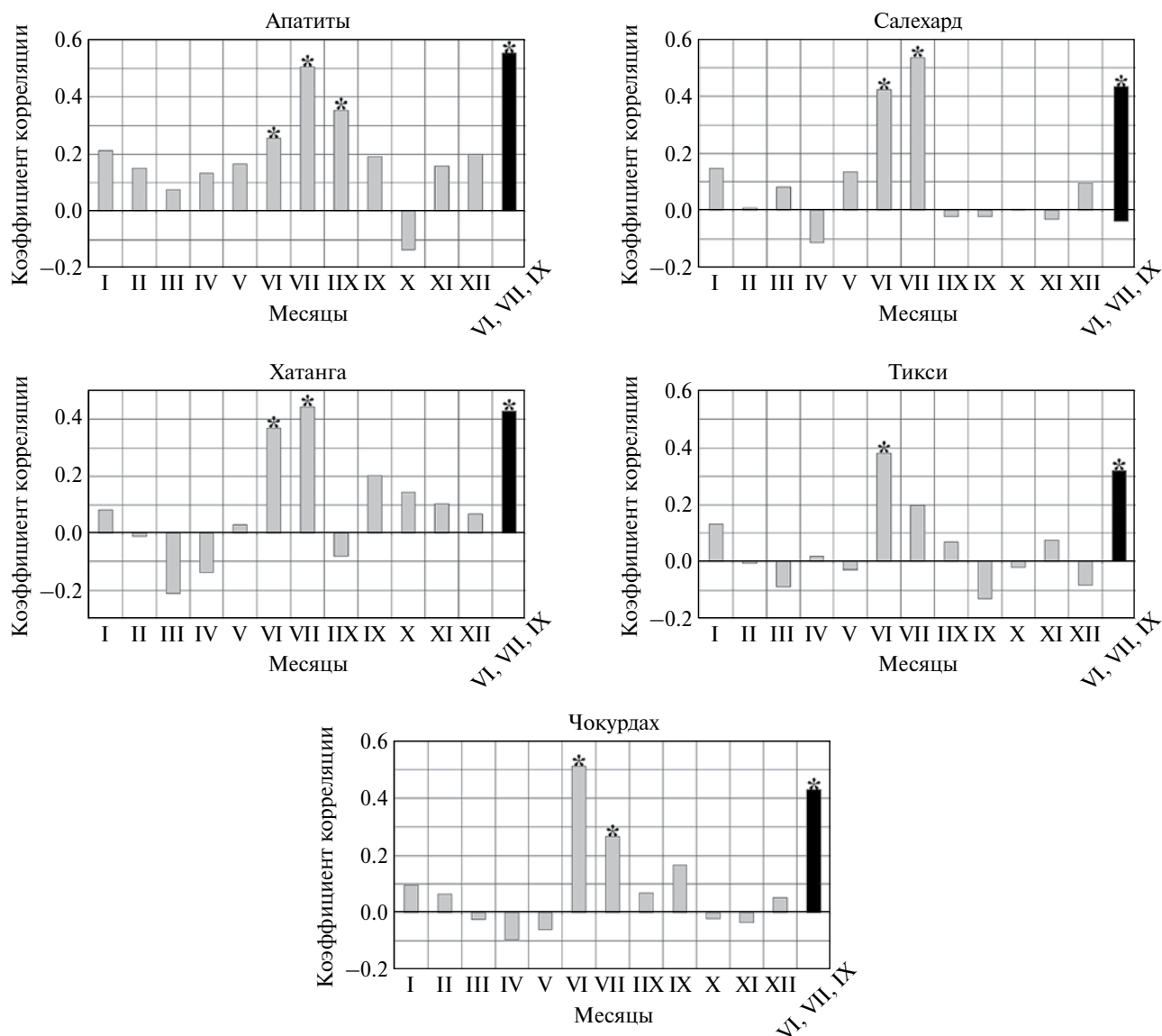


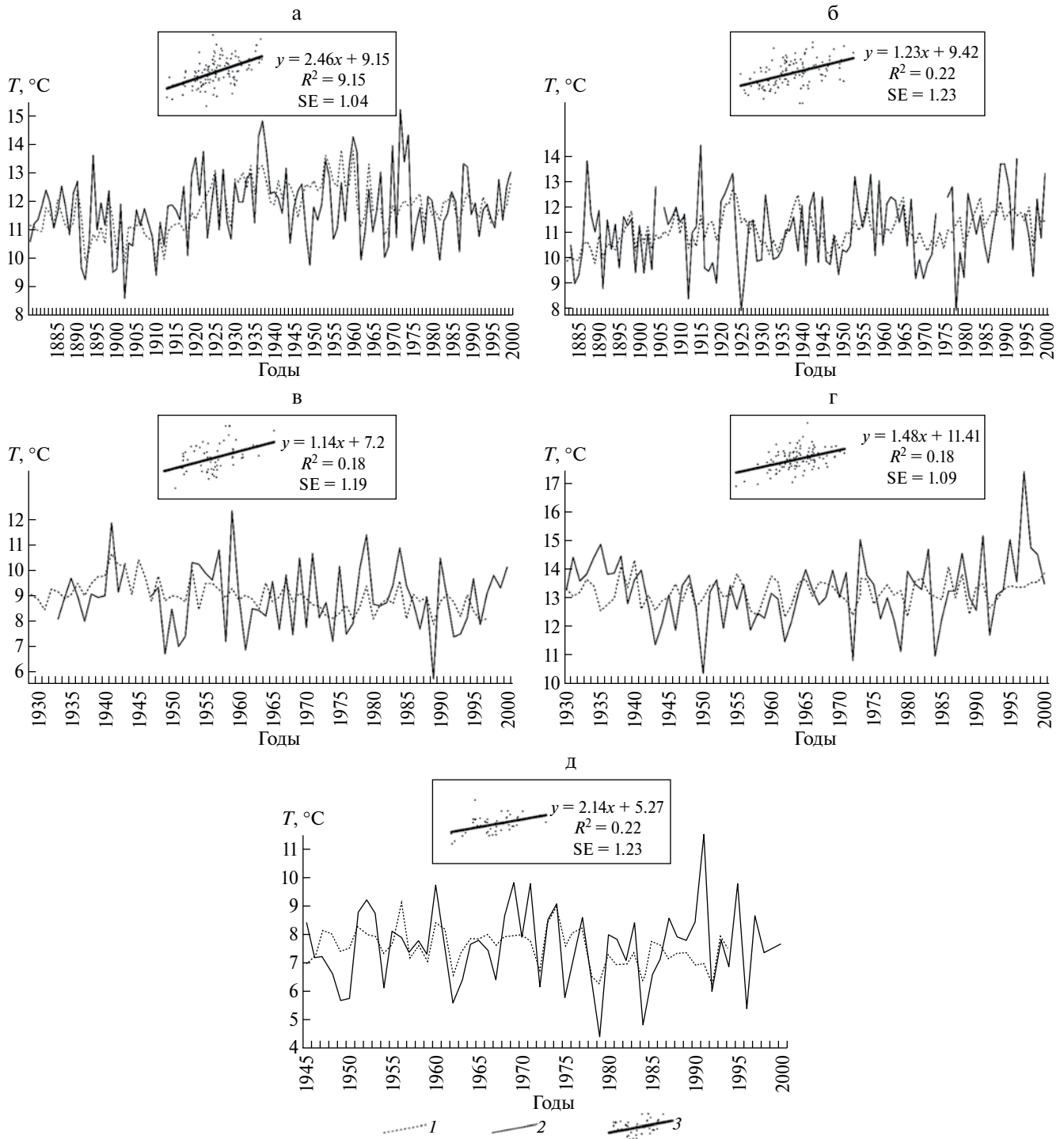
Рис. 2. Корреляции хронологий по ширине годичного кольца с климатическими данными. Звездочкой отмечены значимые коэффициенты корреляции при  $p < 0.05$ .

Затем с помощью модели линейной регрессии рассчитывались дендроклиматические реконструкции для региональных хронологий (рис. 3).

**Результаты.** Корреляционный анализ показал, что в изменении ширины годовых колец наиболее заметно проявляется температура воздуха за июнь и июль. Коэффициент корреляции оказался статистически значимым ( $p < 0.05$ ) также и для значения осредненного по трем летним месяцам (см. рис. 2), что позволило рассчитать регрессионные модели для реконструкции температуры теплого сезона.

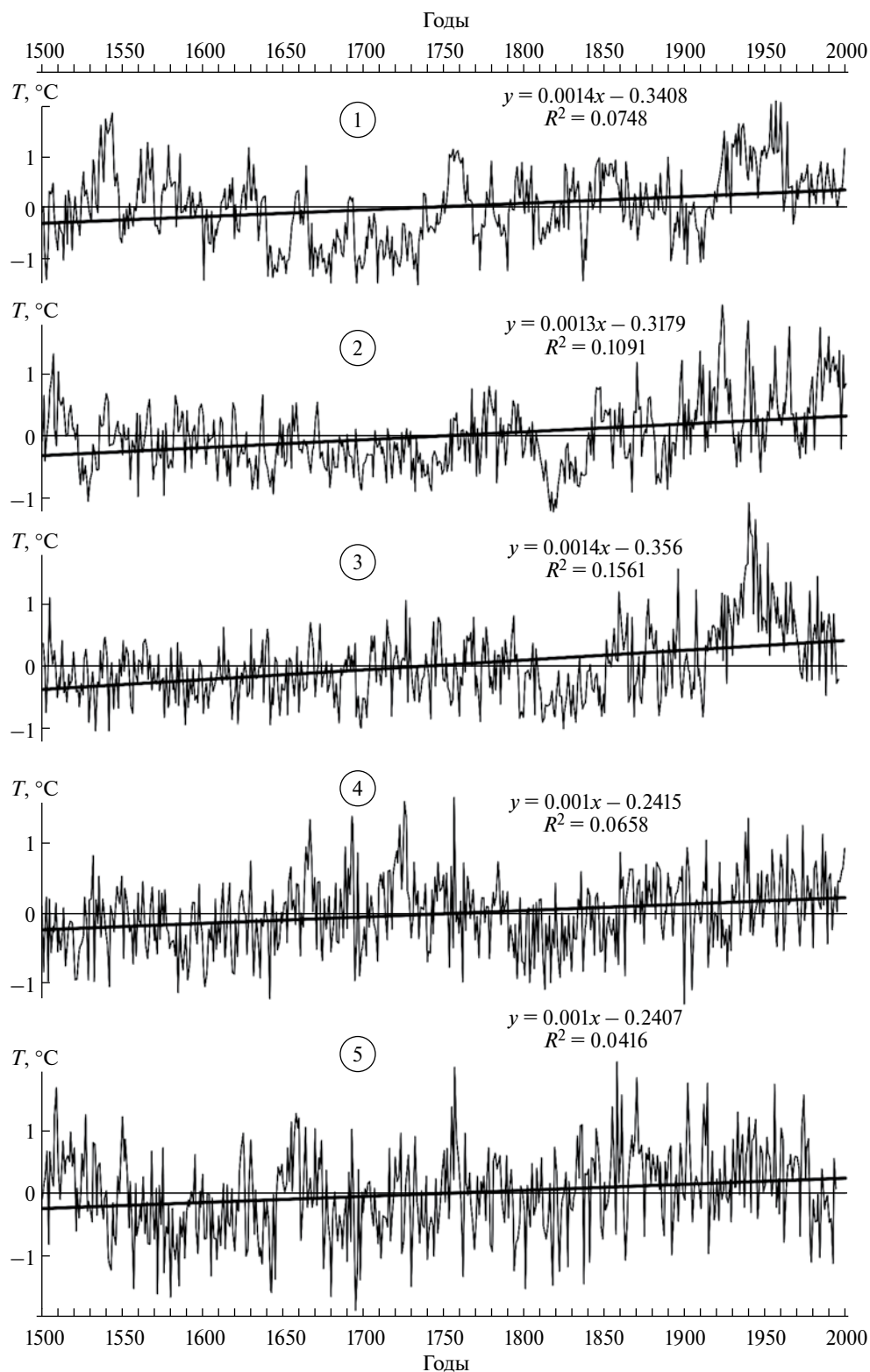
Полученные таким образом реконструкции (рис. 4) демонстрируют как общую схожесть, так и отдельные локальные различия. Для всех исследуемых районов для последних 500 лет выделяется общий положительный тренд (статистически значимый при  $p < 0.05$ ) температурного режима теплого сезона, который обусловлен, главным образом, высокими температурами воздуха в течение последнего столетия.

На севере материковой части Евразии в XX в. летние температуры воздуха были выше средних за 500 лет значений.



**Рис. 3.** Реконструированные (1) и фактические (2) температуры воздуха теплого сезона; (3) регрессионные модели.  $R^2$  — коэффициент детерминации, SE — стандартная ошибка уравнения регрессии.

Районы: а — Кольский полуостров, б — полуостров Ямал, в-полуостров Таймыр, г — устье р. Лены, д — устье р. Индигирки.



**Рис. 4.** Реконструкция температуры воздуха теплого сезона (июль–август) для отдельных регионов северной Евразии за последние 500 лет (отклонения от среднего за весь период значения): 1 – Кольский полуостров, 2 – полуостров Ямал, 3 – полуостров Таймыр, 4 – устье р. Лены, 5 – устье р. Индигирки.

Прямые линии обозначают линейный тренд. Формулы обозначают параметры линейного тренда.

Вместе с тем, в отдельных районах (Кольский полуостров, устья рек Лены и Индигирки) в течение XVI–XIX вв. зафиксированы короткие (20–30 лет) потепления, когда значения летних температур воздуха были сопоставимы с современными. А в устье р. Лена температуры летних месяцев в начале XVIII в. были даже выше, чем в инструментальный период. Кроме того, в указанных районах скорости повышения температур в XX в. не превышали аналогичные показатели доиндустриального периода.

Так на Кольском п-ве в течение первых трех десятилетий XX в. температура воздуха летних месяцев росла со средней скоростью 0.08 °С/год. Этот показатель самый высокий для всех исследуемых районов северной Евразии в указанный период. Аналогичная ситуация фиксируется представленной реконструкцией для середины XVIII в. (1734–1759 гг.), когда температура воздуха повышалась с такой же скоростью (0.08 °С/год).

На Ямале современное потепление началось в самом конце XIX в. Период с 1885 по 1923 гг. имеет самую высокую скорость повышения летних температур – около 0.03 °С/год. Однако в первой половине XIX в. (1818–1847 гг.) они повышались с еще большей скоростью (~0.05 °С/год).

На Таймыре в течение первых 400 лет рассматриваемого периода наиболее интенсивно температуры летних месяцев росли в период с 1812 г. по 1861 г. Тем не менее, скорость повышения температуры этого периода (0.02 °С/год) заметно уступает потеплению в начале XX в. (1912–1941 гг.), когда температура росла со скоростью 0.05 °С/год. Таким образом, аналогов потеплению XX в. ни по температурным значениям, ни по скоростям на протяжении предшествующих 400 лет в данном районе не фиксируется.

В районе устья р. Лена на протяжении 500 лет самым интенсивным было потепление первых десятилетий XVIII в. Температуры теплого сезона росли здесь со средней скоростью 0.005 °С/год, достигнув максимального для всего рассматриваемого периода значения (14.6 °С) в 1726 г. XX в., хотя и был в целом теплее предшествующих столетий, тем не менее, повышение температуры здесь

в это время было менее значительным по сравнению с более западными районами.

На севере Якутии (устье р. Индигирка) в течение XX в. вариация летних температур имела незначительную отрицательную направленность, т.е. глобальное потепление индустриального периода здесь не проявилось. Повышение температур теплого сезона началось с начала XIX в.

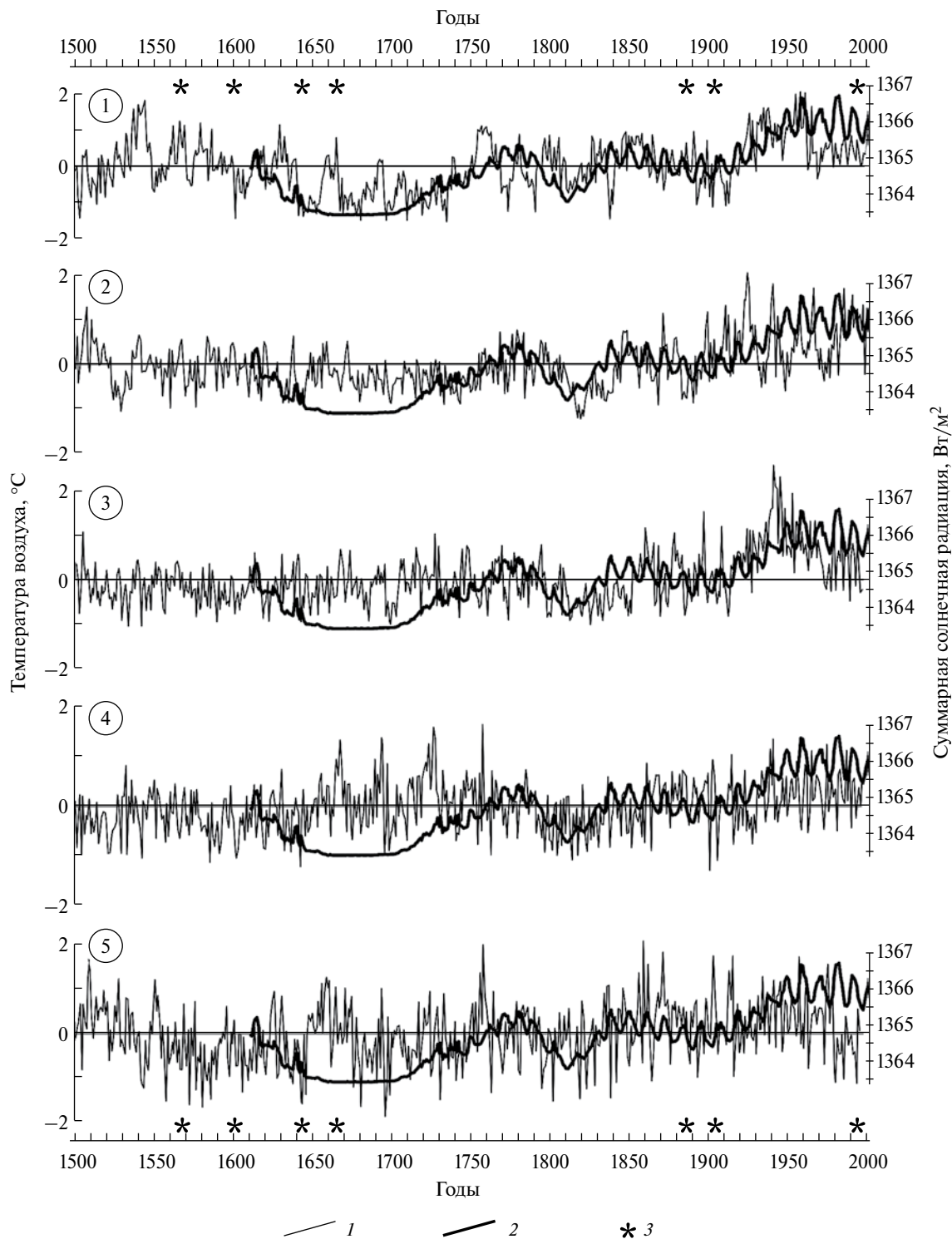
Для анализа согласованности межгодовой изменчивости в пространстве использовался критерий знаков (*sign test*). Определялись направления изменений значений температуры для каждого конкретного года по отношению к предыдущему (повышение или понижение), которые затем сравнивались по всем пяти рассматриваемым районам. Было выделено 243 года, имеющих 4 или 5 совпадений, т.е. около 50%. Аналогичные расчеты для инструментального периода показали схожий результат ~40%.

**Обсуждение.** В работах [3, 5] были выполнены оценки чувствительности региональных температур к изменению глобальной температуры. Авторы путем совместного статистического анализа рядов температуры воздуха для пространственных пятиградусных “боксов” и глобально осредненных аномалий среднегодовых и среднемесячных значений, получили регрессионные модели связи региональных и глобальных температур. Данный метод был разработан с целью прогноза пространственных особенностей климатических изменений при заданном значении глобальной температуры. Однако, используя этот подход в сочетании с принципом актуализма, можно попытаться получить представление о состоянии глобального климата (например, температурного режима) в прошлом, основываясь на региональные палеоклиматические реконструкции, т.е. выполнить обратную задачу. С этой целью было проведено сравнение реконструированных значений температуры воздуха с инструментальными осредненными для высоких широт Северного полушария, которое выявило статистически значимую ( $p < 0.05$ ) корреляцию для западной и центральной частей Евразии (табл. 3). Отметим, что на востоке Северной Евразии региональные особенности динамики температуры теплого сезона существенно отличаются от

**Таблица 3.** Корреляция региональных реконструкций температуры теплого сезона с инструментальными данными по внутритропической части Северного полушария

Район	Кольский полуостров	Полуостров Ямал	Полуостров Таймыр	Устье р. Лены	Устье р. Индигирки
Коэффициент корреляции	0.49*	0.36*	0.35*	0.06	0.00

\* Коэффициенты корреляции значимые при  $p < 0.05$ .



**Рис. 5.** Региональные дендроклиматические реконструкции температуры воздуха теплого сезона (1), динамика солнечной активности (2) и годы крупных (более 6 баллов VEI) извержений вулканов (3).  
 1 – Кольский полуостров, 2 – полуостров Ямал, 3 – полуостров Таймыр, 4 – устье р. Лены, 5 – устье р. Индигирки.



глобальных проявлений температурного режима за инструментальный период. Тем не менее, согласно полученным реконструкциям, Малый ледниковый период [11] отчетливо проявился во всех исследуемых районах. На протяжении XVI–XIX вв. здесь преобладали годы с более низкими, чем в среднем за 500 лет летними температурами воздуха.

Тот факт, что характер изменения температурного режима на протяжении последних столетий имеет черты для достаточно обширной территории, может свидетельствовать о проявлении здесь глобальных климатообразующих факторов. В первую очередь к таким факторам следует отнести солнечную активность [10]. Согласно [9, 10, 14, 24] в течение последнего тысячелетия имели место периоды понижения активности солнца – минимумы, причем каждый последующий был менее значителен, чем предыдущий. На последние 500 лет приходится два полных минимума (Маундера 1645–1715 и Дальтона 1795–1825).

Сопоставление периодов солнечной активности с представляемой в данной статье реконструкцией выявило, что хотя солнечные минимумы часто совпадают с периодами похолоданий, но не всегда выделяются на фоне остальных климатических колебаний, а иногда находятся с ними в противофазе. Например, в районе дельты р. Лена во время минимума Маундера реконструируется локальное потепление (рис. 5). Особенно четко совпадение вариаций солнечной активности и летних температур воздуха проявилось на Кольском полуострове. В остальных районах понижение температуры воздуха теплого сезона во время минимума Маундера было не столь значительным по сравнению с минимумом Дальтона.

Извержения вулканов также рассматриваются как один из климатообразующих факторов [23]. Однако анализ воздействия вулканической активности [8] на температуру воздуха теплого сезона на севере Евразии за последние 500 лет не показал их значимой связи (см. рис. 5).

**Заключение.** Динамика температур воздуха теплого сезона на севере материковой части Евразии на протяжении последних 500 лет имеет общий положительный тренд, который наиболее четко проявился во всех исследуемых регионах в XX в. Вместе с тем, скорости повышения температуры воздуха в разные десятилетия доинструментального периода были сопоставимы с современным потеплением.

Помимо общих черт климатических изменений на севере Евразии на протяжении 500 лет отчетливо проявляются региональные отличия.

В некоторых регионах фиксируются отдельные локальные краткосрочные потепления. Наиболее ярко такие события происходили на Кольском п-ве в начале XVI в. и в районе устья р. Лена во второй половине XVII–начале XVIII вв. Здесь температура воздуха теплого сезона достигала значений сравнимых с летними температурами XX в.

Сопоставление климатических изменений с динамикой солнечной активности показало, что минимум Маундера отчетливо проявляется только на западе Евразии (Кольский п-ов). Минимум Дальтона фиксируется во всех исследуемых районах. В целом можно сказать, что такой климатообразующий фактор как солнечная активность, не являлся доминирующим в температурном режиме теплых сезонов на севере Евразии на протяжении последних 500 лет.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке программы ФНИ РАН по теме Госзадания № 0148-2018-0002 (НИОКТР № 01201352492) и президиума РАН в рамках проекта № 0148-2015-0047 (НИОКТР № АААА-А18-118021490197-9), а также РФФИ в рамках научного проекта № 16-05-00349.

**Acknowledgments.** This study was supported by the Russian Academy of Sciences Fundamental Research Program, State Tasks 0148-2018-0002 (registration no. 01201352492) and 0148-2015-0047 (registration no. АААА-А18-118021490197-9) and by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 16-05-00349.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов О.А., Жильцова Е.Л. Об оценках изменений климата регионов России в XX в. и начале XXI в. по данным наблюдений // Метеорология и гидрология. 2012. № 6. С. 95–107.
2. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Хантемиров Р.М., Наурызбаев М.М. Изменчивость летней температуры воздуха в высоких широтах Северного полушария за последние 1.5 тыс. лет: сравнительный анализ данных годовичных колец деревьев и ледовых колонок // Докл. АН. 1998. Т. 358. № 5. С. 681–684.
3. Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Клещенко Л.К., Смирнов В.Д. О пространственном осреднении в задачах мониторинга климата // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2013. Т. 25. С. 42–70.
4. Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Платова Т.В. Оценка сезонных особенностей региональных проявлений изменения глобального климата // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2010. Т. 23. С. 11–22.
5. Семенов С.М., Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Попов И.О., Туткина С.Н. Распределение приповерхностной

- температуры на территории России и соседних стран при заданном уровне глобального потепления // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2013. Т. 25. С. 29–41.
6. Чернавская М.М. Реконструкция термических условий малого ледникового периода на севере Евразии (по дендрохронологическим данным) // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1985. № 1. С. 99–103.
  7. Шиятов С.Г., Хантемиров Р.М., Горланова Л.А. Тысячелетняя реконструкция температуры лета на Полярном Урале: данные древесных колец можжевельника сибирского и лиственницы сибирской // Археология, этнография и антропология Евразии. 2002. Т. 9. № 1. С. 2–5.
  8. Ammann C.M. and Naveau P. Statistical analysis of tropical explosive volcanism occurrences over the last 6 centuries // Geophysical Research Letters. 2003. Vol. 30. No. 5. 1210. doi:10.1029/2002GL016388.
  9. Bard E., Raisbeck G., Yiou F., and Jouzel J. Solar irradiance during the last 1200 years based on cosmogenic nuclides // Tellus. 2000. Vol. 52B. P. 985–992.
  10. Beer J., Mende W., and Stettinmacher R. The role of the sun in climate forcing // Quaternary Science Reviews. 2000. Vol. 19. P. 403–415.
  11. Bradley R.S. and Jones P.D. Little Ice Age summer temperature variations: their nature and relevance to recent global warming trends // Holocene. 1993. Vol. 3. P. 367–376.
  12. Briffa K.R., Melvin T.M., Osborn T.J., Hantemirov R.M., Kirilyanov A., Mazepa V.S., Shiyatov S.G., and Esper J. Reassessing the evidence for tree-growth and inferred temperature change during the Common Era in Yamalia, northwest Siberia // Quaternary Science Reviews. 2013. Vol. 72. P. 83–107.
  13. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team., Pachauri R.K., and Reisinger A. (Ed.). Geneva, Switzerland: IPCC, 2007. 104 p.
  14. Eddy J.A. The Maunder Minimum. The reign of Louis XIV appears to have been a time of real anomaly in the behavior of the sun // Science. 1976. Vol. 192. P. 1189–1202.
  15. Fritts H. Tree rings and climate. London: Academic Press, 1976. 579 p.
  16. Hughes M., Vaganov E., Shiyatov S., Touchan R., and Funkhouser G. Twentieth century summer warmth in northern Yakutia in a 600 year context // Holocene. 1999. Vol. 9. P. 603–608.
  17. Jacoby G., Lovelius N., Shumilov O., Raspopov O., Karbainov J., and Frank D. Long-term temperature trends and tree growth in the Taymir region of northern Siberia // Quat. Res. 2000. Vol. 53(3). P. 312–318.
  18. Kononov Yu M., Friedrich M., and Boettger T. Regional Summer Temperature Reconstruction in the Khibiny Low Mountains (Kola Peninsula, NW Russia) by Means of Tree-ring Width during the Last Four Centuries // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. 2009. Vol. 41. No. 4. P. 460–468.
  19. Lean J. Evolution of the sun's spectral irradiance since the Maunder Minimum // Geophysical Research Letters. 2000. Vol. 27. P. 2425–2428.
  20. MacDonald G.M., Case R.A., and Szeicz J.M. A 538-Year Record of Climate and Treeline Dynamics from the Lower Lena River Region of Northern Siberia, Russia // Arctic and Alpine Research. 1998. Vol. 30. No. 4. P. 334–339.
  21. McCarroll D., Loader N.J., Jalkanen R., Gagen M., Grudd H., Gunnarson B.E., Kirchhefer A.J., Friedrich M., Linderholm H.W., Lindholm M., Boettger T., Los S.O., Remmele S., Kononov Y.M., Yamazaki, Y.H., Young G.H.F., and Zorita E. A 1200-year multiproxy record of tree growth and summer temperature at the northern pine forest limit of Europe // The Holocene. 2013. Vol. 23(4). P. 471–484.
  22. Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences / Cook E., Kairiukstis L.(Ed.). Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 1990. 394 p.
  23. Robock A. Volcanic eruptions and climate // Rev. Geophys. 2000. Vol. 38. No. 2. P. 191–219.
  24. Scafetta N. and West B.J. Phenomenological solar signature in 400 years of reconstructed Northern Hemisphere temperature // Geophysical Research Letters. 2006. Vol. 33. L17718. doi: 10.1029/2006GL027142.

## REFERENCES

1. Anisimov O.A., Zhiltsova E.L. Climate change estimates for the regions of Russia in the 20th century and in the beginning of the 21st century based on the observational data. *Russ. Meteor. Hydrol.*, 2012, no. 6, pp. 421–429. DOI: 10.3103/S1068373912060106.
2. Vaganov E.A., Shiyatov S.G., Khanemirov R.M., Naurzbaev M.M. The variability of summer air temperature at high latitudes in the northern hemisphere for the last 1.5 ka: A comparative analysis of the data on annual tree rings and ice cores. *Dokl. Earth Sci.*, 1998, vol. 358, no. 5, pp. 681–684.
3. Gruza G.V., Rankova E. Ya., Kleschenko L.K., Smirnov V.D. On spatial averaging in climate monitoring problems. *Probl. Ecol. Monitoring Ecosystem Model.*, 2013, vol. 25, pp. 42–70. (In Russ.).
4. Gruza G.V., Rankova E. Ya., Platova T.V. Assessment of seasonal features of regional manifestations of global climate change. *Probl. Ecol. Monitoring Ecosystem Model.*, 2010, vol. 23, pp. 11–22. (In Russ.).
5. Semenov S.M., Gruza G.V., Ran'kova E. Ya., Popov I.O., Titkina S.N. Distribution of surface temperature over territory of Russia and neighboring countries for given level of global warming. *Probl. Ecol. Monitoring Ecosystem Model.*, 2013, vol. 25, pp. 29–41. (In Russ.).
6. Chernavskaya M.M. Reconstruction of the thermal conditions of the Little Ice Age in the north of Eurasia (according to dendrochronological data). *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geogr.*, 1985, no. 1, pp. 99–103. (In Russ.).

7. Shiyatov S.G., Hantemirov R.M., Gorlanova L.A. Millennial reconstruction of the summer temperature in the Polar Urals: tree-ring data from Siberian juniper and Siberian larch. *Archeol. Ethnol. Anthropol. Euras.*, 2002, vol. 9, no. 1, pp. 2–5. (In Russ.).
8. Ammann C.M., Naveau P. Statistical analysis of tropical explosive volcanism occurrences over the last 6 centuries. *Geophys. Res. Lett.*, 2003, vol. 30, no. 5, 1210, DOI:10.1029/2002GL016388.
9. Bard E., Raisbeck G., Yiou F., Jouzel J. Solar irradiance during the last 1200 years based on cosmogenic nuclides, *Tellus*, 2000, vol. 52B, pp. 985–992.
10. Beer J., Mende W., Stellmacher R. The role of the sun in climate forcing. *Quat. Sci. Rev.*, 2000, vol. 19, pp. 403–415.
11. Bradley R.S., Jones P.D. Little Ice Age summer temperature variations: their nature and relevance to recent global warming trends. *Holocene*, 1993, vol. 3, pp. 367–376.
12. Briffa K.R., Melvin T.M., Osborn T.J., Hantemirov R.M., Kirilyanov A., Mazepa V.S., Shiyatov S.G., Esper J. Reassessing the evidence for tree-growth and inferred temperature change during the Common Era in Yamalia, northwest Siberia. *Quat. Sci. Rev.*, 2013, vol. 72, pp. 83–107.
13. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pachauri R.K., Reisinger A., Eds. Geneva, Switzerland: IPCC, 2007. 104 p.
14. Eddy J.A. The Maunder Minimum. The reign of Louis XIV appears to have been a time of real anomaly in the behavior of the sun. *Sci.*, 1976, vol. 192, pp. 1189–1202.
15. Fritts H. *Tree rings and climate*. London: Academic Press, 1976. 579 p.
16. Hughes M., Vaganov E., Shiyatov S., Touchan R., Funkhouser G. Twentieth century summer warmth in northern Yakutia in a 600 year context. *Holocene*, 1999, vol. 9, pp. 603–608.
17. Jacoby G., Lovelius N., Shumilov O., Raspopov O., Karbainov J., Frank D. Long-term temperature trends and tree growth in the Taymir region of northern Siberia. *Quat. Res.* 2000, vol. 53 (3), pp. 312–318.
18. Kononov Yu M., Friedrich M., Boettger T. Regional Summer Temperature Reconstruction in the Khibiny Low Mountains (Kola Peninsula, NW Russia) by Means of Tree-ring Width during the Last Four Centuries. *Arctic, Antarctic, Alpine Res.*, 2009, vol. 41, no. 4, pp. 460–468.
19. Lean J. Evolution of the sun's spectral irradiance since the Maunder Minimum. *Geophys. Res. Lett.*, 2000, vol. 27, pp. 2425–2428.
20. MacDonald G.M., Case R.A., Szeicz, J.M. A 538-Year Record of Climate and Treeline Dynamics from the Lower Lena River Region of Northern Siberia, Russia. *Arctic, Antarctic, Alpine Res.*, 1998, vol. 30, no. 4, pp. 334–339.
21. McCarroll D., et al. A 1200-year multiproxy record of tree growth and summer temperature at the northern pine forest limit of Europe. *Holocene*, 2013, vol. 23 (4), pp. 471–484.
22. *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Cook, E., Kairiukstis, L., Eds. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 1990, 394 p.
23. Robock A. Volcanic eruptions and climate. *Rev. Geophys.*, 2000, vol. 38, no. 2, pp. 191–219.
24. Scafetta N., West B.J. Phenomenological solar signature in 400 years of reconstructed Northern Hemisphere temperature. *Geophys. Res. Lett.*, 2006, vol. 33, L17718, DOI: 10.1029/2006GL027142.