

ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ КОЛЕБАНИЙ СУТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ДИАПАЗОНАХ ВНУТРИМЕСЯЧНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В 1970–2018 гг.

© 2022 г. Е. Д. Бабина^{а, *}, В. А. Семенов^{а, б, **}

^аИнститут географии РАН, Москва, Россия

^бИнститут физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

*e-mail: babina@igras.ru

**e-mail: vasetmenov@mail.ru

Поступила в редакцию 20.10.2021 г.

После доработки 11.02.2022 г.

Принята к публикации 12.02.2022 г.

Анализируются среднеквадратические отклонения (СКО) среднесуточной температуры воздуха в диапазоне – внутримесячном (до 30 сут), устойчивых погодных режимов (от 10 до 30 сут), в синоптическом (от 4 до 9 сут) и в межсуточном (меньше 3 сут) по данным стационарных наблюдений на территории России в 1970–2018 гг. Получены оценки СКО для базового (1970–1999 гг.) и современного (2000–2018 гг.) климатических периодов, а также их изменений для всех сезонов. Изменения сравниваются с изменениями среднесезонной температуры воздуха. Для современного периода в большинстве регионов России характерно уменьшение изменчивости суточной температуры (как правило, на 10–20%) на фоне роста среднесезонной температуры. Наибольшее уменьшение (33–37%) получено весной и осенью в синоптическом диапазоне на Дальнем Востоке и юго-востоке Европейской территории России (ЕТР). Зимой наиболее значительное уменьшение (18–23%) изменчивости во всех диапазонах отмечается в центральных и северо-западных районах ЕТР, среднесезонная температура воздуха увеличилась зимой и осенью на севере ЕТР до 4–5°C. Увеличение изменчивости отмечается во все сезоны в южных районах России, зимой оно максимально (на 16%) в диапазоне устойчивых погодных режимов на юге Сибири (Алтайский край), максимальные изменения в остальные сезоны приходятся на межсуточный диапазон: весной на 20% и осенью на 17% на ЕТР (Татарстан, Тамбовская область), летом на 14% в Иркутской области. Таким образом, в целом, потепление на территории России в последние 50 лет сопровождается уменьшением внутримесячной изменчивости температурных аномалий.

Ключевые слова: изменчивость приземной температуры воздуха, изменения климата, синоптическая изменчивость, межсуточная изменчивость, территория России

DOI: 10.31857/S2587556622030049

ВВЕДЕНИЕ

Современные изменения климата характеризуются значительным ростом глобальной приземной температуры воздуха (ПТВ). Для территории России темп роста глобальной среднегодовой ПТВ за десятилетие в 1976–2018 гг. составил 0.47°C, самый быстрый рост (0.61°C за 10 лет) за этот период отмечается весной, наиболее интенсивное (1.2°C за 10 лет) потепление – на побережье Северного Ледовитого океана¹.

Помимо роста среднегодовой температуры происходящие изменения климата сопровождаются более частыми и интенсивными погодно-

климатическими аномалиями (Бардин, Платова, 2013; Мохов, Семенов, 2016; Zhao et al., 2021). На большей части территории России в 1970–2015 гг. зимой отмечались рост повторяемости суточных экстремумов и уменьшение числа морозных дней (Титкова и др., 2018), уменьшение волн холода и повышение минимальных температур (Виноградова, 2018). В зимний и летний сезоны в 1976–2009 гг. увеличились пороги экстремальных положительных и отрицательных аномалий температуры (Бардин, Платова, 2013). В Причерноморском регионе в 1975–2014 гг. во все сезоны кроме зимы увеличилось число дней с экстремально высокими температурами и уменьшилось – с экстремально низкими, увеличилось число внутрисезонных аномалий температуры для всех сезонов, кроме зимнего (Коваленко и др., 2017). На побережье

¹ Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год. М.: Росгидромет, 2019. 79 с.

Балтийского моря с середины XX в. повысилась среднегодовая температура воздуха и среднемесячная температура самого теплого месяца, минимум в годовом ходе температуры сместился на февраль (Стонт, Демидов, 2015). Наибольшее повышение среднесуточной температуры воздуха на территории России наблюдалось в холодный сезон². Крупные региональные аномалии температуры воздуха связаны с блокирующими антициклонами (экстремальная жара на Европейской территории России [ЕТР] летом 2010 г., аномально холодная зима 2012 г. над Европой) (Мохов, Тимажев, 2015; Попова, 2014; Семенов и др., 2016; Шакина, Иванова, 2010). Возможное увеличение частоты и интенсивности положительных аномалий температуры при глобальном потеплении рассматривается в (Vogodina et al., 2017), что согласуется с откликом атмосферной циркуляции на повышение температуры и с результатами модельных расчетов (Schar et al., 2004).

Серии численных экспериментов с атмосферными моделями для двух периодов 1979–1995 и 2002–2018 гг. показали хорошую воспроизводимость изменений летних экстремумов температур в средних широтах (Zhao et al., 2021). Сравнение модельных трендов и трендов, выявляемых по наблюдениям, за 1950–1995 гг. показывает, что учитывание в модели увеличения концентрации парниковых газов значительно улучшает воспроизведение изменений экстремумов температуры (Kiktev et al., 2003).

Согласно данным моделирования (Володин, Грицун, 2020) в более теплом климате его естественная изменчивость уменьшается, увеличивается частота экстремально теплых дней и уменьшаются частота экстремально холодных дней и суточная амплитуда (Meehl et al., 2000). Рост числа экстремальных погодных явлений приводит к изменениям в изменчивости температурных аномалий. На территории России летом температура самого жаркого месяца может расти быстрее, чем среднесезонная температура (Володин, Грицун, 2020). Модели прогнозируют уменьшение температурного контраста океан–суша в Северном полушарии зимой и увеличение летом, что может приводить к изменениям изменчивости (уменьшение зимой и увеличение летом), вследствие зональной адвекции (Holmes et al., 2016). Возможные изменения изменчивости среднесуточной температуры воздуха для Европы в летний период при различных сценариях изменения содержания парниковых газов в атмосфере приведены в (Fisher and Schär, 2009). Влияние глобального потепления на блокировую активность и, соответственно, на изменчивость темпера-

туры в этом интервале рассматривается в (Lupo et al., 1997). Согласно модельным расчетам (Мохов, Тимажев, 2015; Семенов и др., 2014; Тищенко и др., 2013; Шукуров, Семенов, 2018), в Евро-Атлантическом регионе увеличится частота и интенсивность зимних и летних блокирований и, следовательно, произойдет увеличение изменчивости температуры воздуха в этом диапазоне, все же тенденции изменений по ансамблям климатических моделей характеризуются большой неопределенностью (Мохов, Тимажев, 2015; Woolings et al., 2014). Возможная роль долгопериодных колебаний климата в формировании аномально холодных зимних режимов отмечена в модельных экспериментах (Семенов и др., 2014).

Изменения климата Арктики – так называемое Арктическое усиление потепления – тесно связаны с изменчивостью температуры (Vekryaev et al., 2010). В усилении потепления здесь определяющую роль играет адвекция тепла по направлению к полюсу (Алексеев, 2014). При усилении переносов тепла контрасты приземной температуры воздуха уменьшаются, при ослаблении переносов – возрастают. Уменьшение меридиональных градиентов вследствие Арктического усиления потепления способствует уменьшению синоптической изменчивости температуры зимой в средних широтах Северного полушария (Schneider et al., 2015; Screen, 2014). Это подтверждается численными экспериментами с климатическими моделями (Screen et al., 2015; Ylhäisi and Räisänen, 2014).

Уменьшение межсуточной изменчивости зимой и увеличение летом в средних широтах Северного полушария получено в (Meehl et al., 2000). По данным (Груза, Ранькова, 2012) в 1951–1998 гг. в отдельных районах России и Канады в холодный период наблюдалось ослабление изменчивости среднесуточной приземной температуры воздуха. Внутрисезонная изменчивость для средних широт Евразии в летний сезон анализируется в (Cui et al., 2021).

Для большей части территории России в период 2000–2015 гг. зимой отмечается уменьшение межсуточной и синоптической изменчивости среднесуточной температуры воздуха, летом в западных районах и на юге Сибири изменчивость увеличилась (Бабина, Семенов, 2019). За последние 10 лет на побережье Балтийского моря (Стонт, Демидов, 2015) среднемесячная температура воздуха наиболее изменчива зимой и наименее изменчива в августе. Значительные изменения в межсуточной изменчивости минимальных и максимальных суточных температур за 1966–2015 гг. отмечены в Польше (Szyga-Pluta, 2021). В северо-восточном Китае в 1961–2012 гг. сезонные тренды изменчивости среднесуточной, минимальной и максимальной температур отрицательны во все

² Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1535 с.

сезоны кроме лета (Li et al., 2017). В Северном полушарии межсуточная изменчивость увеличилась в средних широтах летом и уменьшилась в высоких широтах в остальные сезоны (Wan et al., 2021). Уменьшение изменчивости в диапазоне нескольких суток и увеличение межгодовой изменчивости получено в (Gough and Shi, 2020).

Величина изменчивости температуры воздуха реалистично воспроизводится для современного климата ансамблем климатических моделей CMIP5 (Yeh et al., 2021). Увеличение межсуточной и межгодовой изменчивости прогнозируется летом в Центральной и Северной Европе в конце XXI в. (Cattiaux et al., 2015; Fischer et al., 2012; Fischer and Schär, 2009). Уменьшение изменчивости зимой в средних и высоких широтах Северного полушария получено по данным проекта CMIP3 (Ylhäisi and Räisänen, 2014). Модельные оценки воспроизведения изменчивости приведены также в (Cheung et al., 2017; Fredriksen and Rypdal, 2016). В модельных экспериментах для территории России удастся воспроизвести существенную часть среднеквадратического отклонения (СКО) межгодовых изменений температуры приземного воздуха (Спорышев и др., 2012). Эксперименты с климатической моделью HadCM3 и моделью Гидрометцентра России за 1979–1998 гг. на воспроизведение изменчивости среднемесячной температуры приземного воздуха согласуются с данными наблюдений (Рубинштейн и др., 2004). Оценка воспроизведения ансамблем моделей частоты возникновения экстремумов сезонной температуры получена в (Weisheimer and Palmer, 2005). В (Киктев и др., 2021) рассмотрена пространственно-временная изменчивость экстремальных характеристик температурного режима и проведена инвентаризация экстремальных явлений за 1981–2019 гг. для Северного полушария.

В целом в оценке тенденций изменения СКО суточных аномалий ПТВ в последние десятилетия по данным наблюдений существует значительная неопределенность и остается актуальным вопрос о влиянии различных механизмов на изменчивость температуры воздуха.

Изменчивость суточной ПТВ имеет несколько характерных временных масштабов. Можно выделить межсуточный, синоптический диапазоны и диапазон устойчивых погодных режимов (УПР) (Груза, Ранькова, 2004; Mitchell, 1976). Важной характеристикой изменчивости температуры являются межсуточные изменения (< 3 сут), связанные с физико-географическими условиями местности (неоднородностью подстилающей поверхности, наличием водоемов, снега или льда, а также с неоднородностью поступления радиации в атмосферу, облачностью и другими физическими процессами в атмосфере). Межсуточные изменения температуры являются хорошим по-

казателем континентальности климата (Gough and Shi, 2020). Изменчивость, соответствующая синоптическим процессам (4–9 сут), связана с вихревой активностью атмосферы, атмосферной циркуляцией, в том числе с бризами, фронтами, конвективными процессами. Диапазон УПР выделен по длительности устойчивых погодных аномалий, часто связанных с формированием блокирующего антициклона, к этому диапазону относятся колебания температуры от 10 до 30 сут (Попова, 2014; Семенов и др., 2016; Шакин и др., 2010).

В качестве меры изменчивости разных метеорологических величин в большинстве работ используется дисперсия или среднее квадратическое отклонение (Груза, Ранькова, 2012; Рубинштейн и др., 2004).

Цель данной работы – анализ изменений параметров изменчивости в сравнении с изменениями среднесезонной температуры воздуха (СТВ) для всех сезонов с использованием разных интервалов и рядов анализируемых данных, актуализированных по 2018 г.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для анализа использовались данные стационарных наблюдений по среднесуточной приземной температуре воздуха на территории России из архива ВНИИГМИ-МЦД³. Метеостанции расположены на территории Российской Федерации между 30° в.д.–180° в.д. и 40° с.ш.–82° с.ш. Всего использованы данные 293 станций.

Анализировались данные по всем календарным сезонам – лета (июнь, июль, август), зимы (декабрь, январь, февраль), весны (март, апрель, май) и осени (сентябрь, октябрь, ноябрь) для периодов – 1970–1999 гг. (базовый период) и 2000–2018 гг. (современный период). Так как данные содержат пропуски, то отбирались метеостанции, где количество пропусков не превышало 3 за сезон, а количество сезонов с пропусками в рассматриваемый период не превышало 6 для базового периода и 3 для современного. Отсутствующие данные заполнялись с помощью линейной интерполяции.

Преобразование Фурье можно интерпретировать как прохождение исследуемого сигнала через набор фильтров. В ряде работ для выделения временных интервалов использовался фильтр Мураками (Логинов и др., 2017; Christoph et al., 1995) и полосовой частотный фильтр, основанный на нерекурсивном фильтре с конечной импульсной характеристикой (Логинов и др., 2017). В данной статье для оценок климатической изменчивости в исследуемых диапазонах использо-

³ <http://www.meteo.ru>

вался линейный полосовой фильтр (Signal ..., 1993) на основе быстрого преобразования Фурье. Одним из его свойств является независимость амплитудного спектра от сдвига ряда по времени (Поляк, 1975). Влияние окон разного размера на представление сигнала в частотно-временной области преобразования Фурье исследовано в (Астахов и др., 2019). К недостаткам фильтра можно отнести также его зависимость от длины исходного ряда, при уменьшающейся ширине окна снижается его разрешение в частотной области (Поляк, 1975).

Перед фильтрацией из исходных временных рядов температуры удалялся среднеклиматический годовой ход. Полученные ряды, таким образом, для каждого сезона представляли собой “сцепленные” подряд значения аномалий среднесуточных температур за 30 лет для базового периода и 19 лет для современного. Фильтрация временного ряда за сезон проводилась отдельно для каждого из диапазонов: <30 сут (внутримесячный), <3 сут (межсуточный), 4–9 сут (синоптический), 10–30 сут (диапазон УПР). При фильтрации линейным полосовым фильтром для межсуточного диапазона исключались частоты от 4 до 30 сут, для синоптического – менее 3 и более 10 сут; для диапазона УПР – менее 9 и более 31 сут. Для внутримесячного диапазона – более 31 сут. Чувствительность результатов к выбору границ диапазонов рассмотрена в (Shneider et al., 2015).

В качестве меры изменчивости для отфильтрованных данных рассчитывалось среднее квадратическое отклонение. Для оценки значимости отличий оценок СКО использовался тест Фишера на отрицание гипотезы о равенстве дисперсий двух выборок с уровнем значимости 1%.

Изменчивость среднесуточной температуры воздуха за 1970–1999 гг. для межсуточного и внутримесячного диапазонов приведена на рис. 1, для синоптического и УПР диапазонов – на рис. 2. Изменение изменчивости для этих диапазонов в 2000–2018 гг. показано на рис. 3 и 4 соответственно.

На основе данных о среднемесячной температуре из архива CRU Ts⁴ на широтно-долготной сетке с разрешением 0.5° × 0.5° рассчитывались разности среднесезонных температур (СТВ) $S = \text{СТВ} (2000–2018) - \text{СТВ} (1970–1999)$, которые затем сопоставлялись с изменениями изменчивости. На рис. 3 и 4 разности S показаны изолиниями.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изменчивость температуры в базовый период 1970–1999 гг. СКО среднесуточной температуры воздуха за все сезоны для внутримесячного и межсуточного диапазонов представлены на

рис. 1, для синоптического и УПР диапазонов – на рис. 2. СКО среднесуточной температуры воздуха во всех диапазонах максимально зимой и минимально летом. В межсуточном диапазоне изменчивость имеет самые низкие значения, во внутримесячном – самые высокие из всех анализируемых диапазонов. В синоптическом диапазоне изменчивость меньше примерно в два раза, в диапазоне УПР – в полтора раза, в межсуточном – в 3 раза, по сравнению с внутримесячным.

Изменчивость в целом возрастает с юга на север и с запада на восток. Самые высокие значения относятся к центральным и северо-восточным районам, самые низкие к западным и южным. Зимой максимумы приходятся на центральные районы Сибири – в синоптическом (4.6°C) и межсуточном (2.3°C) диапазонах на Красноярский край, во внутримесячном диапазоне (8.2°C) на Иркутскую область, в диапазоне УПР на Чукотку (6.3°C). Минимумы во всех диапазонах кроме УПР (1.4°C, Южно-Курильск) получены на о. Беринга (синоптический 1.0°C, межсуточный 0.5°C, внутримесячный 2.2°C). Летом во всех диапазонах изменчивость максимальна в Якутии (внутримесячный 4.1°C, межсуточный 1.0°C, синоптический 2.4°C, диапазон УПР 3.0°C) и минимальна (внутримесячный 0.6°C, межсуточный 0.1°C, синоптический 0.2°C, диапазон УПР 0.5°C) на о. Визе в Карском море.

Весной в синоптическом диапазоне изменчивость максимальна в ЯНАО (3.2°C), в остальных диапазонах максимумы приходятся на Красноярский край (внутримесячный 6.0°C, межсуточный 1.6°C, диапазон УПР 4.3°C). Минимумы изменчивости весной во внутримесячном (1.9°C) и синоптическом (0.9°C) диапазонах получены на Камчатке, в межсуточном (0.5°C) – в Ростовской области (Таганрог), в диапазоне УПР (0.9°C) – на Курильских островах. Осенью в диапазоне УПР максимум (4.1°C) приходится на Красноярский край, в других диапазонах – на Якутию (синоптический 3.5°C, межсуточный 1.7°C, внутримесячный 5.9°C). Минимумы во всех диапазонах (внутримесячный 1.5°C, межсуточный 0.4°C, синоптический 0.8°C, диапазон УПР 1.0°C) осенью относятся к о. Беринга.

Во внутримесячном диапазоне в переходные сезоны на западе (Калининградская, Новгородская области) и юге (Ростовская область, Республика Калмыкия) ЕТР изменчивость не превышает 2–3°C (табл. 1). На Урале и юге Западной Сибири (Республика Алтай, Кемеровская область) СКО увеличивается до 4.0–4.7°C. На северо-востоке России (Чукотка, Якутия) весной и осенью (см. рис. 1б, г) изменчивость достигает 5.0–5.9°C, в Забайкалье и на юге Дальнего Востока она снижается до 3.5–4.0°C (см. табл. 1). Зимой (см. рис. 1а) на Урале изменчивость составляет 5.0–6.0°C, на юге

⁴ <http://www.cru.uea.ac.uk>

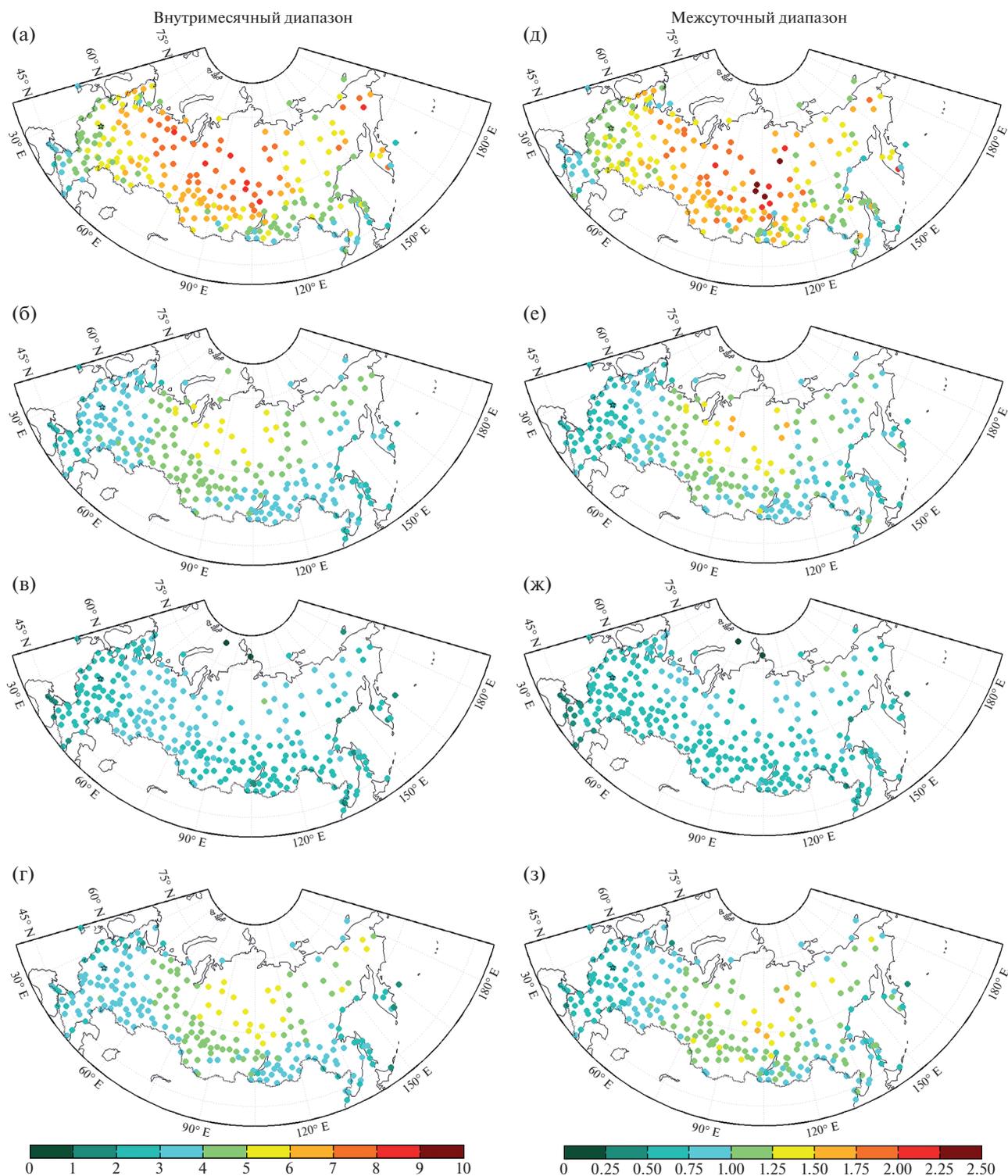


Рис. 1. Стандартное отклонение среднесуточной приземной температуры воздуха за 1970–1999 гг. во временных диапазонах изменчивости: <30 сут ((а) – зима, (б) – весна, (в) – лето, (г) – осень) и <3 сут ((д) – зима, (е) – весна, (ж) – лето, (з) – осень).

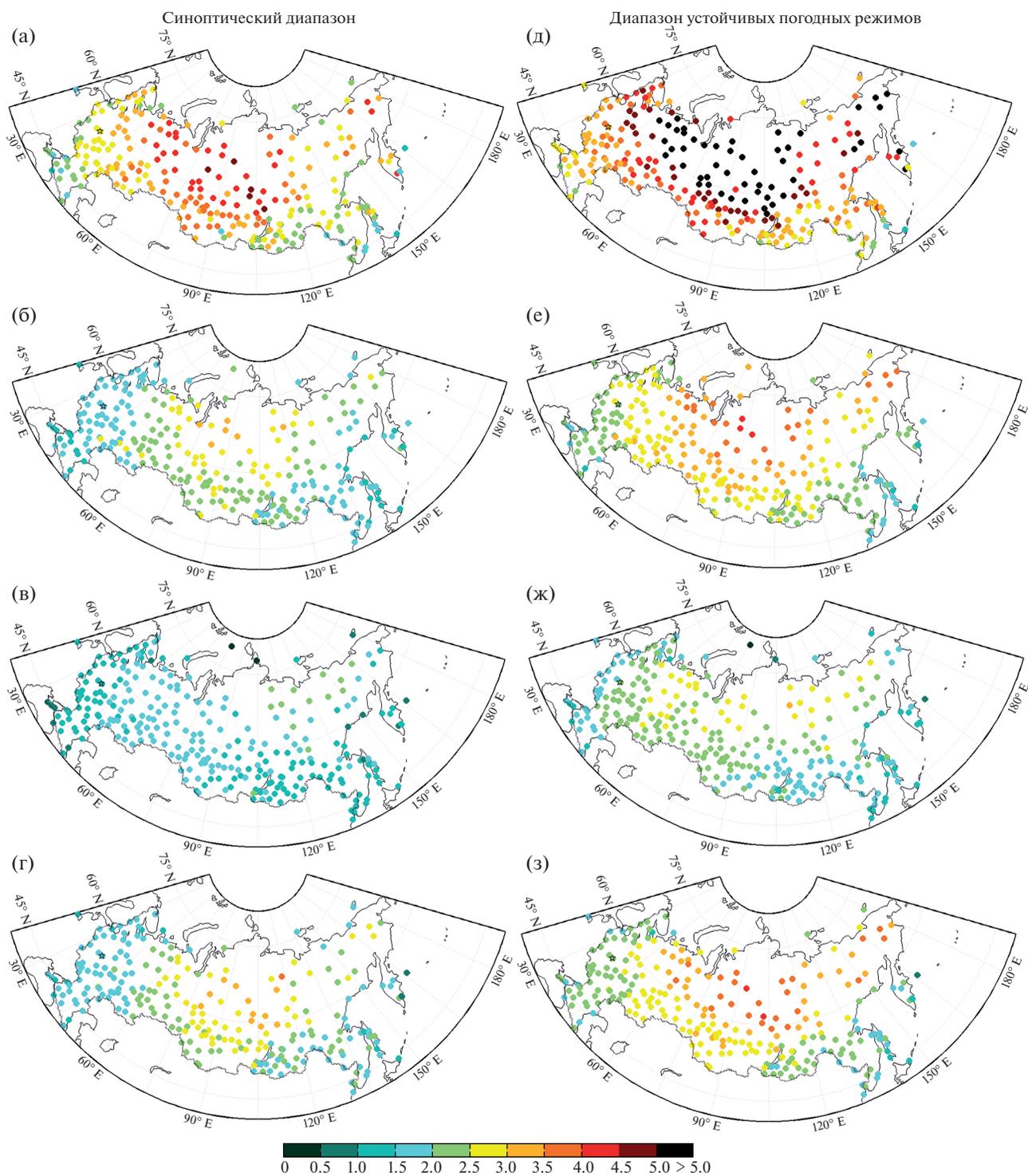


Рис. 2. Стандартное отклонение среднесуточной приземной температуры воздуха за 1970–1999 гг. во временных диапазонах изменчивости: 4–9 сут ((а) – зима, (б) – весна, (в) – лето, (г) – осень) и 10–30 сут ((д) – зима, (е) – весна, (ж) – лето, (з) – осень).

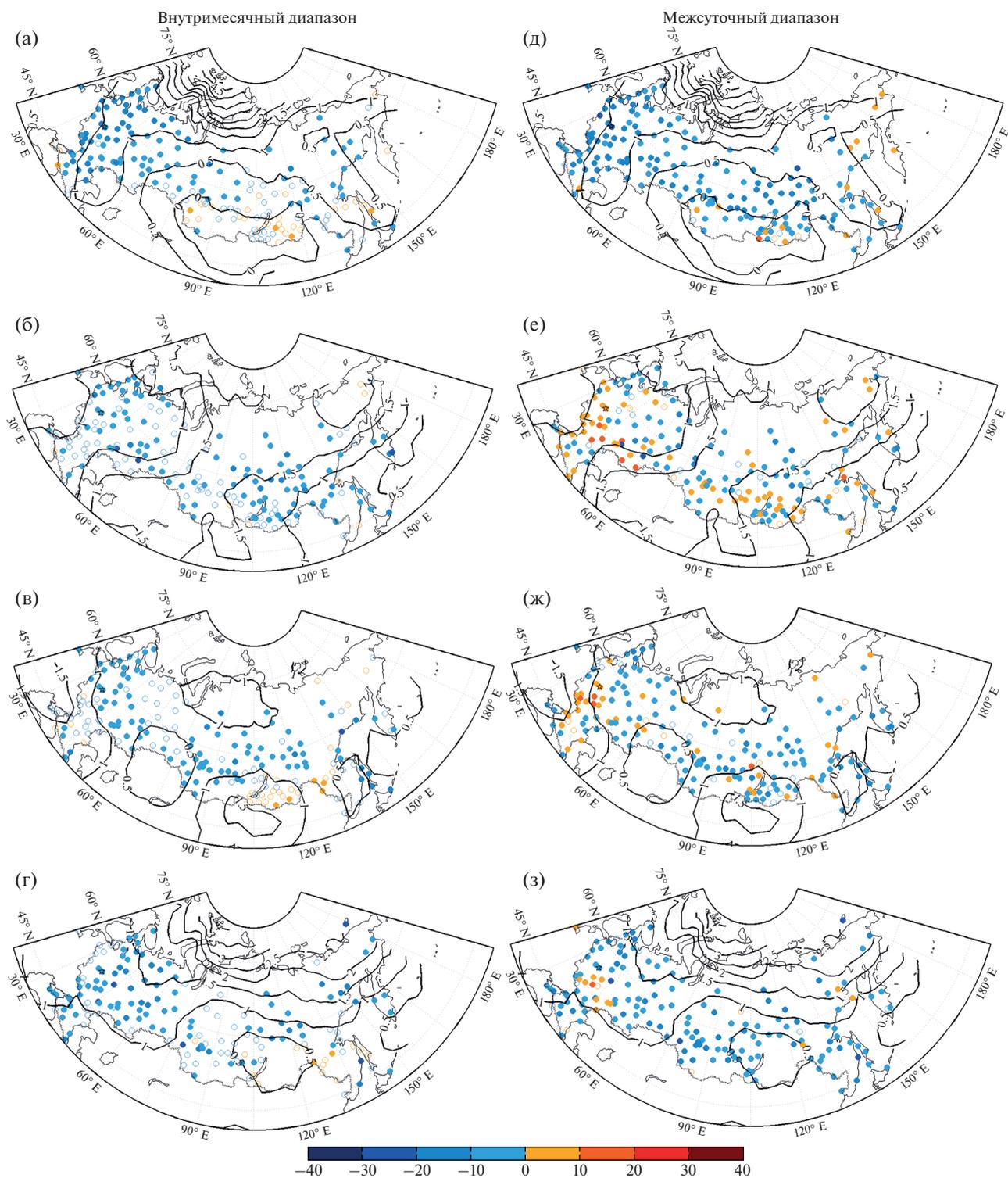


Рис. 3. Изменение (%) отношения стандартных отклонений $R = ((\text{std}(2000-2018)/\text{std}(1970-1999))-1) \times 100\%$ со степенью достоверности >0.9 (закрашенные кружочки) и <0.9 (незакрашенные кружочки) во временных диапазонах изменчивости: <30 сут ((а) – зима, (б) – весна, (в) – лето, (г) – осень) и <3 сут ((д) – зима, (е) – весна, (ж) – лето, (з) – осень). Изолиниями показана разность среднесезонных температур воздуха ($^{\circ}\text{C}$) $\text{mean}(2000-2018) - \text{mean}(1970-1999)$.

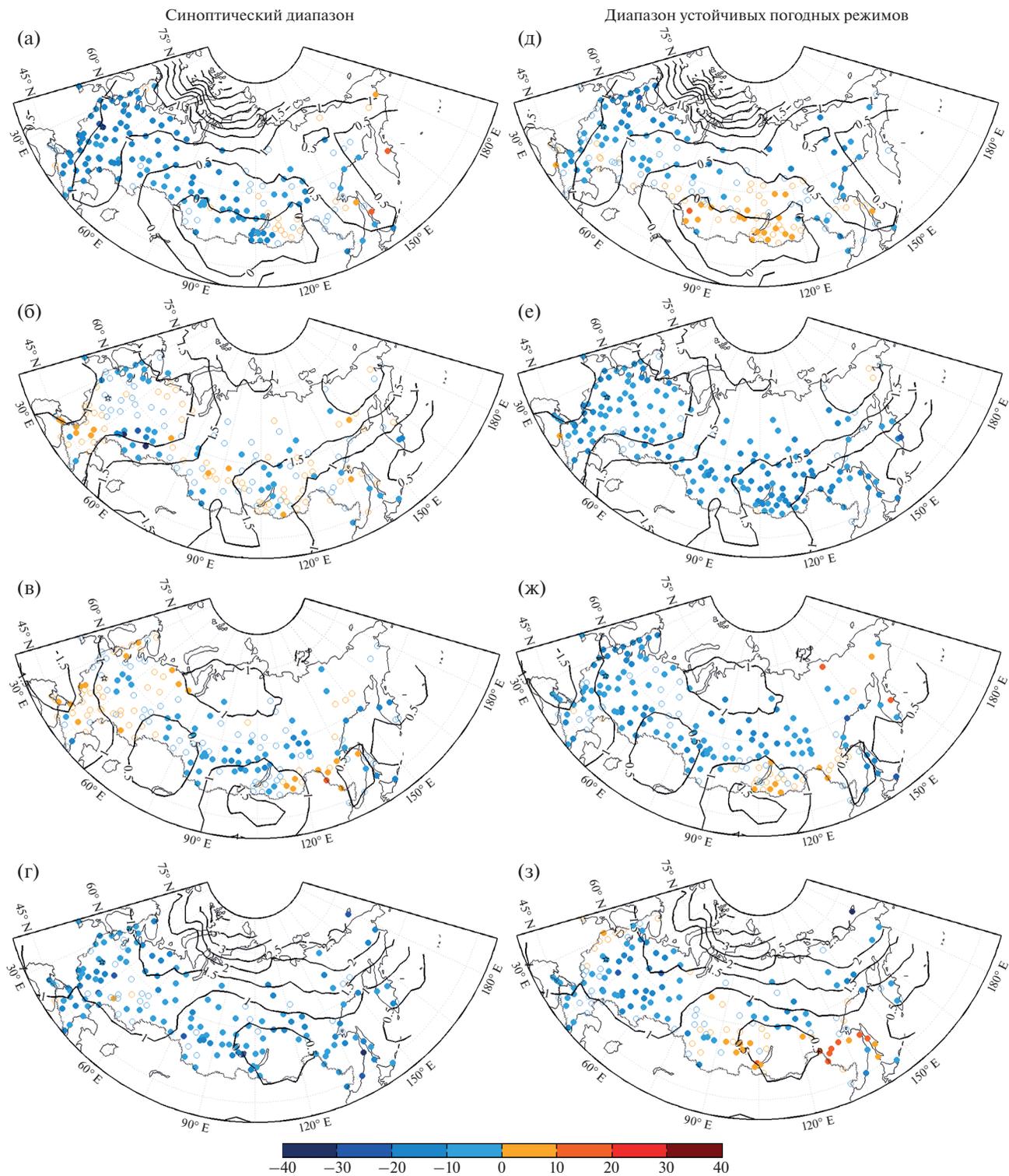


Рис. 4. Изменение (%) отношения стандартных отклонений $R = ((\text{std}(2000-2018)/\text{std}(1970-1999))-1) \times 100\%$ со степенью достоверности >0.9 (закрашенные кружочки) и <0.9 (незакрашенные кружочки) во временных диапазонах изменчивости: 4–9 сут ((а) – зима, (б) – весна, (в) – лето, (г) – осень) и 10–30 сут ((д) – зима, (е) – весна, (ж) – лето, (з) – осень). Изолиниями показана разность среднесезонных температур воздуха ($^{\circ}\text{C}$) $\text{mean}(2000-2018) - \text{mean}(1970-1999)$.

Таблица 1. Значения СКО для внутримесячного и межсезонного диапазонов для базового (I) и современного (II) периодов (жирным выделены значимые значения)

Город	Координаты		Период	Диапазон							
	с.ш.	в.д.		внутримесячный				межсезонный			
				зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
Калининград	54.7	20.6	I	3.6	2.8	2.2	2.4	0.9	0.6	0.5	0.6
			II	3.3	2.7	2.0	2.4	0.7	0.6	0.5	0.6
Санкт-Петербург	60.0	30.3	I	4.5	3.1	2.4	2.5	1.1	0.7	0.5	0.6
			II	3.8	2.9	2.3	2.5	0.9	0.6	0.6	0.5
Мурманск	69.0	33.1	I	5.3	3.2	3.3	3.0	1.2	0.7	0.8	0.8
			II	4.6	3.1	3.1	2.9	1.1	0.7	0.7	0.6
Симферополь	44.7	34.1	I	3.9	2.9	1.9	3.1	0.9	0.6	0.4	0.6
			II	4.0	2.7	1.9	2.9	0.8	0.6	0.4	0.6
Москва	55.8	37.6	I	4.7	3.2	2.6	3.1	1.1	0.7	0.5	0.7
			II	4.0	3.1	2.5	2.8	0.9	0.7	0.5	0.7
Ростов-на-Дону	47.3	39.8	I	4.0	2.7	2.3	3.1	0.9	0.6	0.4	0.7
			II	3.6	2.6	2.3	2.9	0.8	0.6	0.5	0.6
Сочи	43.6	39.8	I	2.7	2.6	1.5	2.4	0.6	0.6	0.3	0.5
			II	2.9	2.7	1.5	2.3	0.6	0.7	0.3	0.5
Кисловодск	43.9	42.7	I	3.7	3.0	2.1	3.2	0.8	0.6	0.4	0.6
			II	3.4	3.0	1.9	2.9	0.8	0.6	0.4	0.6
Нижний Новгород	56.3	44.0	I	5.1	3.4	3.0	4.0	1.2	0.7	0.6	0.9
			II	4.4	3.2	2.8	3.0	1.0	0.7	0.6	0.7
Волгоград	48.7	44.5	I	4.3	3.0	2.7	3.2	1.1	0.7	0.6	0.7
			II	3.8	3.0	2.7	3.1	0.9	0.7	0.5	0.7
Самара	53.3	50.2	I	5.0	3.4	3.1	3.2	1.2	0.7	0.6	0.7
			II	4.4	3.2	2.9	3.2	1.0	0.7	0.5	0.7
Пермь	58.0	56.3	I	5.8	3.9	3.3	3.7	1.3	0.8	0.7	0.9
			II	5.4	3.6	3.0	3.3	1.1	0.8	0.6	0.8
Екатеринбург	56.8	60.6	I	5.2	4.0	3.4	3.8	1.1	0.8	0.6	0.8
			II	4.8	3.7	3.2	3.5	1.0	0.8	0.6	0.8
Салехард	66.5	66.7	I	7.4	4.8	3.2	4.6	1.7	1.2	0.7	1.1
			II	6.6	4.7	3.1	4.4	1.6	1.2	0.8	1.1
Томск	56.5	84.9	I	6.2	4.0	2.9	4.1	1.5	1.0	0.6	1.1
			II	5.9	4.0	2.7	3.9	1.4	1.0	0.6	0.9
Красноярск	56.0	92.8	I	6.5	4.2	2.9	4.4	1.5	1.0	0.6	1.1
			II	6.3	4.1	2.7	4.4	1.3	1.0	0.6	1.0
Иркутск	52.3	104.4	I	4.8	3.4	2.4	3.5	1.2	0.8	0.6	0.8
			II	4.7	3.3	2.4	3.5	1.0	0.8	0.6	0.8
Благовещенск	50.3	127.5	I	3.6	3.1	2.1	2.9	0.9	0.7	0.6	0.8
			II	3.5	3.0	2.3	3.0	0.9	0.7	0.6	0.7
Южно-Курильск	44.0	145.9	I	2.4	2.1	2.1	2.0	0.7	0.7	0.6	0.6
			II	2.1	1.8	1.7	1.9	0.6	0.6	0.5	0.6
Анадырь	64.8	177.6	I	6.8	4.6	2.4	4.1	1.3	0.9	0.6	1.0
			II	6.8	4.6	2.3	3.7	1.3	0.9	0.6	0.8

Западной Сибири (Тюменская, Кемеровская, Томская области) — 6.4–7.2°C. В Забайкалье и на юге Дальнего Востока происходит снижение СКО до 3.3–6.1°C (см. табл. 1). Летом (см. рис. 1в) распределение СКО по территории России более равномерное, самые высокие значения (3.7–4.1°C) приходятся на Якутию, в центральных областях Сибири изменчивость не превышает 3.5°C, уменьшаясь в восточных районах ЕТР и на юге Западной Сибири до 3.0–3.3°C, в центральных районах ЕТР и в Забайкалье — до 2.4–2.7°C.

В межсуточном диапазоне летом (см. рис. 1ж) на большей части территории России значения СКО составляют 0.5–1.0°C, в северных районах (ЯНАО, Красноярский край, Чукотка) и на Урале изменчивость достигает 0.7–1.0°C, на юге Сибири снижается до 0.5–0.7°C. Зимой (см. рис. 1д) на Урале (Башкирия, Челябинская область) и в южных районах Сибири (Омская, Тюменская, Новосибирская области) изменчивость достигает 1.4–1.7°C, весной (см. рис. 1е) и осенью (см. рис. 1з) — 1.0–1.2°C. В западных и центральных районах ЕТР (Псковская, Нижегородская, Московская области) зимой СКО составляет 1.1–1.3°C, весной и осенью — 0.6–0.9°C (см. табл. 1). Весной и осенью (см. рис. 1е, з) в Забайкалье и на юге Дальнего Востока она снижается до 0.7–1.0°C, зимой — до 0.8–1.7°C.

В синоптическом диапазоне на большей части ЕТР весной и осенью (см. рис. 2б, г) изменчивость меняется от 1.5 до 2.0°C, зимой (см. рис. 2а) в центральных и южных районах она составляет 2.4–3.0°C, летом (см. рис. 2в) — 1.0–1.5°C. На востоке ЕТР (Пермский край, Удмуртия) зимой изменчивость достигает 3.0–3.7°C, весной и осенью — 2.0–3.0°C, летом — 1.7–1.9°C. В Предкавказье, Краснодарском крае, Крыму зимой изменчивость снижается до 2.0–2.3°C, на побережьях морей до 1.5–2.0°C. В Забайкалье (Читинская область, Тыва, Бурятия) и на юге Дальнего Востока (Амурская область) в переходные сезоны изменчивость составляет 2.0–2.3°C, летом — 1.3–1.7°C (табл. 2), зимой достигает 2.7–3.3°C. В юго-западных районах Сибири летом изменчивость имеет значения в диапазоне 1.6–1.9°C, весной и осенью — 2.2–2.8°C (см. табл. 2). Летом на побережьях морей и океанов изменчивость не превышает 0.6–0.9°C, весной и осенью — 1.0–1.5°C.

В диапазоне УПР зимой (см. рис. 2д) на северо-западе (Карелия, Вологодская область) и востоке (Пермский край, Удмуртия) ЕТР, а также на Урале (Челябинская и Свердловская области) и юге Западной Сибири (Кемеровская и Курганская области) изменчивость достигает 5.0°C, весной и осенью — 3.4°C (см. рис. 2е, з). В центральных районах ЕТР (Нижегородская и Московская области, Татарстан) изменчивость ниже — зимой 3.6–4.0°C, в переходные сезоны — 2.0–2.6°C, ле-

том — 2.2–2.4°C. В западных (Брянская, Калининградская области) и южных (Ростовская и Астраханская области, Крым, Калмыкия) районах ЕТР летом (см. рис. 2ж) СКО снижается до 1.6–2.0°C, зимой — до 3.0–3.9°C, весной и осенью — до 1.7–2.5°C (см. табл. 2). На юге Восточной Сибири и Дальнего Востока весной и осенью (см. рис. 2е, з) изменчивость меняется от 2.1 до 2.9°C, летом — от 1.8 до 2.1°C, зимой в Хабаровском крае и на Сахалине она составляет 4.0–4.2°C. Наиболее низкие значения приходятся на прибрежные станции и острова (Калининградская область, Дагестан, Краснодарский край, Курильские острова): весной и осенью 1.0–2.0°C, зимой 1.4–3.0°C, летом 0.8–1.3°C (см. табл. 2).

Изменения СКО температуры в современный период 2000–2018 гг. Изменения (R) среднеквадратического отклонения температуры воздуха в 2000–2018 гг. ($СКО_{2000-2018}$) относительно соответствующих значений для 1970–1999 гг. ($СКО_{1970-1999}$) представлены на рис. 3 и 4. Показатель R рассчитывался по формуле $R = ((СКО_{2000-2018} / СКО_{1970-1999}) - 1) \times 100\%$. Разность среднесезонной температуры воздуха $S = СТВ_{2000-2018} - СТВ_{1970-1999}$ показана на рис. 3 и 4 изолиниями.

Осень. Осенью во внутримесячном диапазоне (см. рис. 3г) величина R меняется от –28 до 5%, в межсуточном (см. рис. 3з) от –29 до 17%, в синоптическом (см. рис. 4г) от –37 до 8%, в диапазоне УПР (см. рис. 4з) от –31 до 16%.

Среднесезонная температура воздуха увеличилась осенью на всей территории России. Разности СТВ увеличиваются с широтой, достигая над Баренцевым морем и на Земле Франца Иосифа 3.5–4.0°C. На ЕТР наиболее низкие значения увеличения СТВ (0.8–1.0°C) приходятся на прибрежные районы (Краснодарский край, Ростовская область) морей, где изменчивость среднесуточной температуры уменьшилась во всех диапазонах. Наибольшее уменьшение (–11...–17%) приходится на синоптический и межсуточный диапазоны. Во внутримесячном и УПР диапазонах изменения изменчивости в Нижнем Поволжье и на западе ЕТР статистически не значимы.

В центральных (Московская, Рязанская и Пензенская области) районах ЕТР разность СТВ увеличивается до 1.2–1.3°C, увеличение изменчивости в межсуточном диапазоне (17%) получено в Тамбовской области и в синоптическом (8%) — в Самарской. В Поволжье в синоптическом диапазоне изменчивость уменьшилась на 28–29% (Нижегородская, Саратовская области), в межсуточном и внутримесячном — на 19–26%, в диапазоне УПР — на 16–21%. На востоке (Пермский край, Башкирия) и северо-востоке (Вологодская область) ЕТР величина S составляет 1.2–1.4°C, изменчивость уменьшилась в диапазоне УПР и

Таблица 2. Значения СКО для синоптического диапазона и диапазона устойчивых погодных режимов для базового (I) и современного (II) периодов (жирным выделены значимые значения)

Город	Координаты		Пе- риод	Диапазон							
	с.ш.	в.д.		синоптический				устойчивых погодных режимов			
				зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
Калинин- град	54.7	20.6	I	1.9	1.5	1.2	1.3	2.7	2.2	1.6	1.8
			II	1.6	1.3	1.1	1.2	2.6	2.1	1.5	1.8
Санкт- Петербург	60.0	30.3	I	2.3	1.6	1.3	1.4	3.4	2.4	1.9	1.8
			II	1.9	1.5	1.3	1.3	2.9	2.2	1.7	1.9
Мурманск	69.0	33.1	I	2.8	1.7	1.8	1.7	4.0	2.4	2.4	2.2
			II	2.6	1.7	1.9	1.5	3.3	2.3	2.1	2.2
Симфиро- поль	44.7	34.1	I	2.1	1.6	1.0	1.8	3.0	2.1	1.5	2.3
			II	2.1	1.5	1.0	1.6	3.1	2.0	1.4	2.1
Москва	55.8	37.6	I	2.6	1.7	1.4	1.7	3.4	2.5	2.0	2.2
			II	2.1	1.6	1.4	1.6	3.1	2.3	1.8	2.1
Ростов-на- Дону	47.3	39.8	I	2.2	1.4	1.2	1.7	3.0	2.0	1.8	2.3
			II	1.9	1.5	1.2	1.6	2.7	1.8	1.7	2.2
Сочи	43.6	39.8	I	1.5	1.6	0.8	1.2	2.0	1.8	1.1	1.8
			II	1.5	1.6	0.8	1.2	2.2	1.9	1.1	1.8
Кисловодск	43.9	42.7	I	2.0	1.6	1.1	1.7	2.7	2.2	1.6	2.4
			II	1.7	1.7	1.1	1.5	2.6	2.2	1.4	2.2
Нижний Новгород	56.3	44.0	I	2.9	1.8	1.5	2.3	3.6	2.6	2.3	2.7
			II	2.4	1.7	1.5	1.6	3.3	2.4	2.1	2.2
Волгоград	48.7	44.5	I	2.5	1.6	1.4	1.7	3.0	2.3	2.1	2.4
			II	2.1	1.7	1.5	1.6	2.9	2.1	2.0	2.3
Самара	53.3	50.2	I	2.8	1.9	1.6	1.7	3.5	2.6	2.4	2.4
			II	2.3	1.7	1.6	1.8	3.3	2.5	2.1	2.2
Пермь	58.0	56.3	I	3.2	2.1	1.6	2.0	4.2	2.9	2.6	2.8
			II	3.0	2.0	1.6	1.9	3.9	2.6	2.3	2.3
Екатерин- бург	56.8	60.6	I	2.8	2.1	1.7	2.1	3.9	3.0	2.6	2.8
			II	2.6	2.0	1.7	2.0	3.6	2.7	2.4	2.5
Салехард	66.5	66.7	I	4.0	2.7	1.7	2.5	5.5	3.5	2.4	3.3
			II	3.3	2.7	1.8	2.3	5.1	3.2	2.2	3.3
Томск	56.5	84.9	I	3.6	2.3	1.6	2.4	4.3	2.9	2.2	2.8
			II	3.3	2.5	1.5	2.2	4.2	2.6	2.1	2.7
Красноярск	56.0	92.8	I	3.7	2.5	1.6	2.6	4.7	3.0	2.1	2.9
			II	3.4	2.5	1.5	2.5	4.7	2.7	2.0	3.1
Иркутск	52.3	104.4	I	2.7	1.9	1.3	2.2	3.4	2.5	1.7	2.3
			II	2.4	1.9	1.3	2.0	3.5	2.2	1.8	2.6
Благове- щенск	50.3	127.5	I	1.9	1.7	1.1	1.7	2.7	2.2	1.5	1.9
			II	1.9	1.8	1.3	1.5	2.5	2.1	1.7	2.2
Южно- Курильск	44.0	145.9	I	1.5	1.2	1.1	1.3	1.4	1.3	1.5	1.1
			II	1.3	1.1	0.9	1.2	1.3	1.1	1.1	1.0
Анадырь	64.8	177.6	I	3.2	2.1	1.4	2.2	5.5	3.8	1.6	3.1
			II	3.5	2.1	1.4	2.0	5.3	3.7	1.5	2.8

межсуточном на 15–17%, во внутримесячном – на 11–13%, в синоптическом – на 5–7% (для ряда станций юго-востока ЕТР они статистически не значимы).

На юге Западной Сибири разности СТВ уменьшаются до 0.8–1.1°C (Алтайский край, Кемеровская и Омская области). Уменьшение изменчивости в синоптическом и межсуточном диапазонах (Новосибирская область) достигает –27...–29%, во внутримесячном –22%, в диапазоне УПР –15%. Самые низкие значения S (0.3–0.5°C) получены на юго-востоке Сибири, где во всех диапазонах кроме УПР произошло уменьшение изменчивости, достигающее наибольших значений (–17...–20%) в синоптическом и межсуточном диапазонах в Иркутской области. Для большого количества станций в южных и центральных районах Сибири изменения изменчивости в УПР и внутримесячном диапазонах статистически не значимы.

Низкими значениями S (0.4–0.7°C) характеризуются прибрежные районы Дальнего Востока. В Хабаровском крае в синоптическом диапазоне получено наиболее значительное (–37%, Советская Гавань) уменьшение изменчивости среднесуточной температуры. В других диапазонах уменьшение составило –20...–24% в межсуточном и внутримесячном (Хабаровский край) и –10...–15% (Приморский край) в диапазоне УПР.

На севере (Архангельская и Мурманская области, Республика Коми) и северо-западе (Республика Карелия) ЕТР, в центральных (ХМАО) и северных (ЯНАО) районах Западной Сибири величина S достигает 1.4–1.6°C. На севере ЕТР во всех диапазонах изменчивость уменьшилась на 12–20%, на севере Западной Сибири уменьшение не превышает –5...–9%. В северо-восточных районах Сибири СТВ возросла на 1.5–2.5°C, на Таймыре на 3.5°C. Уменьшение изменчивости в межсуточном и синоптическом диапазонах составило –17...–20%, во внутримесячном (–28%) и диапазоне УПР (–31%) наибольшее уменьшение приходится на о. Врангеля.

В юго-восточных регионах Сибири и Дальнего Востока произошло увеличение изменчивости. В диапазоне УПР увеличение составило 13–16% в Хабаровском крае, Амурской области, на Сахалине и 6–10% на юге Красноярского края и Иркутской области. Незначительное увеличение (5–10%) приходится во внутримесячном диапазоне на Амурскую область. Увеличение статистически не значимо во внутримесячном и УПР диапазонах на побережье Охотского моря и во внутримесячном диапазоне – на о. Сахалин.

Зима. Зимой во внутримесячном диапазоне (см. рис. 3а) величина R меняется от –18 до 9%, в межсуточном (см. рис. 3 д) от –23 до 11%, в синоптическом (см. рис. 4а) от –21 до 13%, в диапазоне УПР (см. рис. 4д) от –21 до 16%.

На большей части территории России изменчивость среднесуточной температуры уменьшилась во всех диапазонах, а СТВ увеличилась. Увеличение разности СТВ происходит в северо-восточном и северо-западном направлениях с максимумом 4.5–5.0°C над Баренцевым морем. Во внутримесячном диапазоне уменьшение на 13–18% охватывает северные и северо-западные районы ЕТР и соответствует повышению СТВ на 1.2–1.5°C.

В межсуточном, синоптическом и УПР диапазонах наиболее значительное уменьшение изменчивости (на 17–21%) приходится на всю ЕТР (см. табл. 1, 2). На большей части ЕТР СТВ увеличилась на 1.0–1.2°C.

В западных районах (Смоленская, Псковская и Калининградская области), на побережьях Балтийского и Черного морей, в районе Кавказских Минеральных Вод разности СТВ снижаются до 0.5–0.9°C. Уменьшение изменчивости в Калининграде в межсуточном диапазоне достигает –20%, а в Краснодарском и Ставропольском краях не превышает –12...–15%. В юго-восточных районах ЕТР (Пермский край, Башкирия, Свердловская область) разности СТВ уменьшаются до 0.4–0.8°C, уменьшение изменчивости в межсуточном диапазоне снижается до –14...–16%, в синоптическом и внутримесячном до –10...–12%, в диапазоне УПР до –7...–8%. Для большинства станций во внутримесячном (Республика Крым) и синоптическом (Республика Крым, Саратовская, Тамбовская и Челябинская области) диапазонах увеличение изменчивости статистически не значимо. В Сочи зимой во внутримесячном и УПР диапазонах, в Махачкале в межсуточном диапазоне отмечается слабое увеличение изменчивости на 2–9%. Наибольшее уменьшение зимой (–23%) получено в межсуточном диапазоне в Смоленской области, в синоптическом (–21%) – в Московской области, во внутримесячном и УПР диапазонах – в Республике Карелия.

В Сибири в межсуточном и синоптическом диапазонах уменьшение изменчивости (на 10–16%) охватывает большинство регионов, в диапазоне УПР (на 5–13%) и внутримесячном (на 5–11%) – центральные и северные районы. Увеличение СТВ в Центральной Сибири составило 0.3–0.8°C (Иркутская область, ХМАО), в северных и северо-восточных районах (ЯНАО, Чукотка) 0.8–1.2°C. Наиболее значительное уменьшение изменчивости во всех диапазонах (–15...–20%) отмечается в Якутии (см. рис. 3, 4). На юге Сибири (Омская, Томская, Новосибирская и Читинская области, Алтайский край, Бурятия) зимой в современный период СТВ уменьшилась на 0.2–0.4°C. При этом во всех диапазонах кроме синоптического произошло увеличение изменчивости среднесуточной температуры на 8–16%. Макси-

мум (Алтайский край, 16%) получен в диапазоне УПР, в межсуточном диапазоне наибольшее увеличение (11%) относится к Бурятии. В синоптическом диапазоне в этом регионе изменчивость уменьшилась (на 5–16%).

Увеличение изменчивости в синоптическом диапазоне статистически не значимо в Забайкалье, во внутримесячном и УПР диапазонах – для отдельных станций в Южной Сибири и Приморском крае. Зимой на побережье Дальнего Востока отмечается увеличение среднесезонной температуры воздуха на 0.3–0.6°C (см. рис. 3, 4). Уменьшение изменчивости во всех диапазонах кроме внутримесячного достигает –13% (Приморский край, Магаданская и Амурская области), во внутримесячном –6...–10%. Наибольшее увеличение в синоптическом диапазоне (на 13%) приходится на Камчатку, во внутримесячном (на 9%) – на Сахалин.

Весна. Весной во внутримесячном диапазоне (см. рис. 3б) величина R меняется от –25 до 4%, в межсуточном (см. рис. 3е) от –25 до 20%, в синоптическом (см. рис. 4б) от –35 до 8%, в диапазоне УПР (см. рис. 4е) от –22 до 6%. На ЕТР самые низкие значения S величиной 0.6–0.7°C получены на северо-западе (Кировская и Вологодская области), в УПР диапазоне им соответствует уменьшение изменчивости среднесуточной температуры на 7–10%, во внутримесячном на 4–6%. В синоптическом диапазоне уменьшение для центральных и восточных районов ЕТР статистически не значимо.

Возрастая в северо-западном направлении, разность СТВ достигает в Псковской, Архангельской областях, Коми и Карелии 0.8–1.0°C, в НАО и Мурманской области – 1.1–1.2°C, над акваторией и островами Баренцева моря – 1.2–2.2°C. Наиболее значительное (на 12–18%) уменьшение изменчивости в этом регионе отмечается во всех диапазонах кроме синоптического. В межсуточном и синоптическом диапазонах отмечается незначительное (на 3–5%) увеличение изменчивости.

В юго-западных (Белгородская, Курская и Ростовская области) и западных (Смоленская и Калининградская области) районах ЕТР величина S возрастает до 1.0–1.1°C, уменьшение изменчивости максимально в УПР диапазоне (–8...–12%), в межсуточном и синоптическом диапазонах получено увеличение (5–13%) изменчивости (Ростовская, Тамбовская и Смоленская области). В синоптическом диапазоне увеличение для юго-западных и северо-восточных районов ЕТР статистически не значимо.

В районе Кавказских Минеральных Вод, Краснодарском крае, Республике Дагестан разность СТВ снижается до 0.7–0.9°C, во всех диапазонах кроме межсуточного изменчивость уменьшилась на 7–13% и увеличилась в межсуточном и

УПР диапазонах на 6–10%. Во внутримесячном диапазоне статистически значимого увеличения не получено. В юго-восточных районах ЕТР (Астраханская, Оренбургская и Челябинская области, Башкирия) рост СТВ составил 1.1–1.3°C. Значительное уменьшение изменчивости в синоптическом диапазоне получено в Самарской (–35%) и Челябинской (–33%) областях. В межсуточном и внутримесячном диапазонах уменьшение на Южном Урале и в Поволжье достигает –20...–25%, в диапазоне УПР –16...–18%, максимальное уменьшение (на 25%) в этих диапазонах приходится на Челябинскую область. В межсуточном диапазоне на Южном Урале и в Нижнем Поволжье (Саратовская и Волгоградская области) увеличение изменчивости составляет 5–12%, в Татарстане увеличение максимально (20%).

Сибирь характеризуется высокими значениями разности СТВ. На большей части Западной Сибири (Курганская и Тюменская области, ЯНАО) величина S имеет значения 1.0–1.5°C, в юго-восточных районах (Томская и Новосибирская области, Алтайский край) и центральных районах (Красноярский край, Иркутская область) Восточной Сибири разности СТВ возрастают до 1.5–1.7°C. Уменьшение изменчивости в УПР диапазоне составляет –10...–14%, наибольшие значения (–14...–19%) получены в межсуточном диапазоне (Томская область), наименьшие –6...–8% во внутримесячном и синоптическом. В межсуточном и синоптическом диапазонах выявлено увеличение изменчивости до 7–8%. В центральных районах Сибири для многих станций во внутримесячном и синоптическом диапазонах уменьшение изменчивости статистически не значимо.

Наибольшие разности СТВ (1.8–2.2°C) приходятся на северо-восточные районы Сибири (Чукотка, Якутия, Магаданская область). В синоптическом диапазоне уменьшение изменчивости на побережьях Восточно-Сибирского и Охотского морей статистически не значимо. В Иркутской и Тюменской областях, Красноярском крае изменчивость уменьшилась в УПР диапазоне на 14...–16%, во внутримесячном на 8...–11%. Во всех диапазонах наиболее значительное (–15...–16%) уменьшение изменчивости произошло в Якутии. В межсуточном и синоптическом диапазонах на юге Красноярского края изменчивость увеличилась до 6–9%, во внутримесячном уменьшение не значимо для большого числа станций юга Красноярского края и Забайкалья.

В Забайкальском крае разности СТВ снижаются до 1.0–1.1°C, в Республике Бурятия и на юге Иркутской области до 1.2–1.3°C. Наибольшее уменьшение изменчивости приходится на диапазон УПР (–11...–14%). В межсуточном и синоптическом диапазонах отмечается увеличение из-

менчивости на 5–8%. Значительным уменьшением изменчивости (–16...–22%) во всех диапазонах характеризуется Дальний Восток (Камчатка, Сахалин). В диапазоне УПР наибольшее уменьшение (на 22%) получено на Камчатке (см. рис. 3, 4). На юге Дальнего Востока (Приморский край, Амурская область) S снижается до 0.6–0.7°C, постепенно увеличиваясь к северу до 0.8–1.4°C (Хабаровский край, Магаданская область). На 16% изменчивость увеличилась в межсуточном диапазоне в Хабаровском крае, на 8% в синоптическом в Магаданской области. На Чукотке во всех диапазонах кроме межсуточного значения изменчивости статистически не значимы.

Лето. Летом величина R во внутримесячном диапазоне (см. рис. 3в) изменяется от –24 до 10%, в межсуточном (см. рис. 3ж) от –19 до 14%, в синоптическом (см. рис. 4в) от –19 до 12%, в диапазоне УПР (см. рис. 4ж) –29 до 9%.

На большей части ЕТР рост СТВ имеет значения 0.8–1.0°C, уменьшение изменчивости наиболее значительно в межсуточном и УПР диапазонах (–11...–15%) и приходится на северные (Мурманская область, Республика Карелия) и северо-западные районы (Вологодская, Ленинградская и Новгородская области). Во внутримесячном диапазоне уменьшение составило –5...–7%, в синоптическом диапазоне в Карелии она увеличилась на 6%, а в юго-восточных районах ЕТР – уменьшилась в диапазоне УПР на 8–12%, в других диапазонах – на 4–9%.

Разность СТВ увеличивается в юго-западных и южных районах ЕТР и составляет 1.0–1.3°C в Воронежской, Тамбовской, Волгоградской областях, Ставропольском и Краснодарском краях, 1.4–1.6°C в Ростовской области и Крыму. В межсуточном диапазоне на 11–13% увеличилась изменчивость в Рязанской, Тамбовской и Ростовской областях, на 7–9% в Краснодарском крае, Курской и Белгородской областях. Увеличение межсуточной изменчивости летом в средних широтах Северного полушария подтверждается в (Holmes et al., 2016; Meehl et al., 2000; Wan et al., 2021). В синоптическом и внутримесячном диапазонах для многих станций на юге и северо-востоке ЕТР изменения изменчивости статистически не значимы. Также выявлено незначительное (<6%) увеличение изменчивости в синоптическом диапазоне в Крыму, Республике Калмыкии и Ростовской области. Уменьшение изменчивости максимально (–7...–10%) в УПР и внутримесячном диапазонах в Крыму и Ставропольском крае.

На Урале (Свердловская область) рост средне-сезонных температур снижается до 0.5–0.6°C. В диапазоне УПР ему соответствует уменьшение изменчивости (Челябинская область) на 10–13%, в других диапазонах на 4–8%. Самые низкие

(0.2–0.4°C) разности СТВ приходятся на юг Западной Сибири (Омская и Курганская области). В межсуточном и УПР диапазонах им соответствует уменьшение изменчивости на 10–15%, в синоптическом и внутримесячном на 5–9%. На юге Восточной Сибири (Республика Бурятия, Забайкальский край, Читинская область) разности СТВ имеют высокие значения (1.2–1.5°C), в Забайкалье отмечается увеличение изменчивости, во всех диапазонах кроме межсуточного оно достигает 6–9%. В межсуточном диапазоне наибольшее увеличение 14% приходится на Иркутскую область, в диапазоне УПР (12%) – на Якутию. Увеличение изменчивости в УПР и внутримесячном диапазонах для Забайкалья статистически не значимо. На побережьях и островах Карского моря (ЯНАО, север Красноярского края) величина S увеличивается до 1.1–1.2°C, во внутримесячном и УПР диапазонах изменчивость уменьшилась на 11–16%, в синоптическом до 8%, в межсуточном отмечается незначительное увеличение (2%).

В центральных (Якутия) и северо-восточных (Чукотка) районах Сибири рост СТВ в современный период составляет 0.7–1.0°C, в межсуточном, синоптическом и УПР диапазонах в Красноярском крае и Якутии изменчивость уменьшилась на 14–19%. На Чукотке уменьшение изменчивости во всех диапазонах незначительно (–4...–7%), в УПР диапазоне наблюдается ее увеличение до 7%. Во внутримесячном диапазоне на северо-востоке Сибири увеличение изменчивости статистически не значимо.

На юге Дальнего Востока (Хабаровский и Приморский края, Сахалин) разность СТВ уменьшается до 0.4–0.6°C. Наибольшее уменьшение в УПР (–29%) и синоптическом (–19%) диапазонах приходится на Хабаровский край и Сахалин (Южно-Курильск –23% и Невельск –14%), в межсуточном – на Красноярский край (–19%). Разность СТВ увеличивается с широтой, достигая в Магаданской области и на Камчатке 0.7–0.8°C. Во внутримесячном диапазоне наиболее значительное уменьшение изменчивости отмечается на побережье Тихого океана (Охотск –24%, Сахалин –13...–18%, Южно-Курильск –19%). Во всех диапазонах на юге Дальнего Востока (Амурская область) отмечается рост изменчивости, в синоптическом и внутримесячном диапазонах он составляет 12 и 10% соответственно, в диапазоне УПР 5–11%, в межсуточном <5%. В синоптическом диапазоне увеличение изменчивости на побережье Охотского моря статистически не значимо.

ВЫВОДЫ

В современный период (2000–2018 гг.) относительно предшествующих трех десятилетий в большинстве регионов России происходит уменьше-

ние изменчивости среднесуточной температуры (как правило, на 10–20%) во все сезоны на фоне повышения средней температуры. Наибольшее уменьшение (на 33–37%) отмечается весной и осенью в синоптическом диапазоне изменчивости на Дальнем Востоке и юго-востоке ЕТР. Зимой наиболее значительное уменьшение изменчивости (на 18–23%) во всех диапазонах отмечается в центральных и северо-западных районах ЕТР.

В южных районах ЕТР и Сибири зимой наблюдается увеличение (до 16%) изменчивости среднесуточной температуры. В другие сезоны оно отмечается главным образом в межсуточном диапазоне весной (на 20%) и осенью (на 17%) в отдельных регионах ЕТР (Республика Татарстан, Тамбовская область), летом – в Иркутской области (на 14%).

Увеличение изменчивости в межсуточном диапазоне в центральных районах ЕТР летом (12–13%) согласуется с исследованиями (Holmes et al., 2016; Meehl et al., 2000; Wan et al., 2021) об увеличении межсуточной изменчивости летом в средних широтах Северного полушария.

В целом, сравнение изменений СКО в различных диапазонах изменчивости и изменений средней температуры не выявило устойчивой связи между этими характеристиками. При общем снижении изменчивости температуры на территории России, следует отметить ее рост в диапазоне устойчивых погодных режимов зимой на фоне похолодания на юге Сибири. Это явление связано с более частым формированием зимних блокирующих антициклонов южнее Баренцева моря в начале XXI в. и адвекцией холодного арктического воздуха в этот регион, что связывается с реакцией атмосферной циркуляции на сокращение площади морских льдов в Баренцевом море.

Обнаруженное общее снижение изменчивости на территории России согласуется с тенденцией к уменьшению меридионального градиента температуры в средних широтах Северного полушария при глобальном потеплении и снижению интенсивности термической адвекции.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания Института географии РАН АААА-А19-119022190173-2 (FMGE-2019-0009).

FUNDING

The work was carried out within the framework of the state-ordered research theme of the Institute of Geography RAS АААА-А19-119022190173-2 (FMGE-2019-0009).

Список литературы

- Алексеев Г.В.* Арктическое измерение глобального потепления // Лёд и Снег. 2014. Т. 54. № 2. С. 53–68.
- Астахов Н.В., Башкиров А.В., Журилова О.Е., Макаров О.Ю.* Частотно-временной анализ нестационарных сигналов методами вейвлет-преобразования и оконного преобразования Фурье // Радиотехника. 2019. № 6 (8). С. 109–112.
- Бабина Е.Д., Семенов В.А.* Внутримесячная изменчивость среднесуточной приземной температуры воздуха на территории России в период 1970–2015 гг. // Метеорология и гидрология. 2019. № 8. С. 21–33.
- Бардин М.Ю., Платова Т.В.* Изменения порогов экстремальных значений температур и осадков на территории России в период глобального потепления // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2013. № 25. С. 71–93.
- Виноградова В.В.* Зимние волны холода на территории России со второй половины XX века // Изв. РАН. Сер. геогр. 2018. № 3. С. 37–46.
- Володин Е.М., Грицун А.С.* Воспроизведение возможных будущих изменений климата в XXI веке с помощью модели климата INM-CM5 // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 3. С. 255–266.
- Груза Г.В., Ранькова Э.Я.* Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 50–66.
- Груза Г.В., Ранькова Э.Я.* Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. М.: ФГБУ “ВНИИГМИ-МЦД”, 2012. 193 с.
- Киктев Д.Б., Круглова Е.Н., Куликова И.А., Муравьев А.В.* Экстремальные метеорологические явления на сезонных и внутрисезонных интервалах времени в контексте изменения климата // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2021. № 1 (379). С. 36–57.
- Коваленко О.Ю., Бардин М.Ю., Воскресенская Е.Н.* Изменения характеристик экстремальности температуры воздуха в Причерноморском регионе и их изменчивость в связи с крупномасштабными климатическими процессами межгодового масштаба // Фундаментальная и прикладная климатология. 2017. № 2. С. 42–62.
- Логинов С.В., Елисеев А.В., Мохов И.И.* Влияние негауссовой статистики атмосферных переменных на экстремальные внутримесячные аномалии // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2017. Т. 53. № 3. С. 307–317.
- Мохов И.И., Семенов В.А.* Погодно-климатические аномалии в Российских регионах и их связь с глобальными изменениями климата // Метеорология и гидрология. 2016. № 2. С. 16–28.
- Мохов И.И., Тимажев А.В.* Модельные оценки возможных изменений атмосферных блокирований в северном полушарии при RCP-сценариях антропогенных воздействий // Доклады АН. 2015. Т. 460. № 2. С. 210–214.
- Поляк И.И.* Численные методы анализа наблюдений. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 212 с.

- Попова В.В.* Летнее потепление на Европейской территории России и экстремальная жара 2010 г. как проявление тенденций крупномасштабной атмосферной циркуляции в конце XX в. – начале XXI в. // *Метеорология и гидрология*. 2014. № 3. С. 37–49.
- Рубинштейн К.Г., Оганесян В.В., Грачев Н.В.* Воспроизведение приземной температуры воздуха и ее изменчивости // *Метеорология и гидрология*. 2004. № 12. С. 42–51.
- Семенов В.А.* Связь аномально холодных зимних режимов на территории России с уменьшением площади морских льдов в Баренцевом море // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2016. Т. 52. № 3. С. 257–266.
- Семенов В.А., Шелехова Е.А., Мохов И.И.* Влияние Атлантического долгопериодного колебания на формирование аномальных климатических режимов в регионах Северной Евразии по модельным расчетам // *Доклады АН*. 2014. Т. 459. № 6. С. 742–745.
- Спорышев П.В., Катцов В.М., Матюгин В.А.* Согласованность изменений температуры на территории России в ансамблевых модельных расчетах и данных наблюдений // *Метеорология и гидрология*. 2012. № 1. С. 5–20.
- Стонт Ж.И., Демидов А.Н.* Современные тенденции изменчивости температуры воздуха над акваторией юго-восточной Балтики // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География*. 2015. № 2. С. 50–58.
- Титкова Т.Б., Черенкова Е.А., Семенов В.А.* Изменения зимних экстремальных температур и осадков на территории России в последние десятилетия и их региональные особенности // *Лёд и Снег*. 2018. № 4. С. 486–497.
- Тищенко В.А., Хан В.М., Вильфанд Р.М., Рожет Е.* Исследование развития атмосферных процессов блокирования и квазистационарирования антициклонов в Атлантико-Европейском секторе // *Метеорология и гидрология*. 2013. № 7. С. 15–30.
- Шакина Н.П., Иванова А.Р.* Блокирующие антициклоны: современное состояние исследований и прогнозирования // *Метеорология и гидрология*. 2010. № 11. С. 5–18.
- Шукуров К.А., Семенов В.А.* Характеристики зимних аномалий приземной температуры в Москве в 1970–2016 гг. при сокращении площади морских льдов в Баренцевом море // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2018. Т. 54. № 1. С. 13–27.
- Бекряев Р., Polyakov I., Alexeev V.* Role of polar amplification in long-term surface air temperature variations and modern Arctic warming // *J. Climate*. 2010. Vol. 23. P. 3888–3906.
- Borodina A., Fischer E.M., Knutti R.* Potential to constrain projections of hot temperature extremes // *J. Climate*. 2017. Vol. 30. № 24. P. 9949–9964.
- Cattiaux J., Douville H. et al.* Projected increase in diurnal and interdiurnal variations of European summer temperatures // *Geophys. Res. Lett.* 2015. Vol. 42 (3). P. 899–907.
- Cheung A., Mann M. et al.* Comparison of low frequency internal climate variability in CMIP5 models and observations // *J. Climate*. 2017. № 30. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0712.1>
- Christoph M., Ulbrich U., Haak U.* Faster determination of the intraseasonal variability of storm tracks using Murakami's recursive filter // *Mon. Wea. Rev.* 1995. Vol. 123. № 2. P. 578–581.
- Cui J., Yang S., Li T.* Intraseasonal Variability of Summer-time Surface Air Temperature over Mid-High-Latitude Eurasia and Its Prediction Skill in S2S Models // *J. Meteorol. Res.* 2021. Vol. 35. P. 815–830.
- Fischer E.M., Rajczak J., Schär C.* Changes in European summer temperature variability revisited // *Geophys. Res. Lett.* 2012. Vol. 39. P. 1–8.
- Fischer E.M., Schär C.* Future changes in daily summer temperature variability: driving processes and role for temperature extremes // *Climate Dynam.* 2009. Vol. 33. P. 917–935.
- Fredriksen H.B., Rypdal K.* Spectral characteristics of instrumental and climate model surface temperatures // *J. Climate*. 2016. Vol. 29. P. 1253–1268.
- Gough W., Shi B.* Impact of coastalization on day-to-day temperature variability along China's East Coast // *J. Coastal Res.* 2020. Vol. 36 (3). P. 451–456.
- Guo F., Do V., Cooper R. et al.* Trends of temperature variability: Which variability and what health implications? // *Sci. of the Total Environ.* 2021. Vol. 768, P. 144–487.
- Holmes et al.* Robust future changes in temperature variability under greenhouse gas forcing and relationship with thermal advection // *J. Climate*. 2016. Vol. 29. P. 2221–2236.
- Kiktev D., Sexton D. et al.* Comparison of Modeled and Observed Trends in Indices of Daily Climate Extremes // *J. Climate*. 2003. Vol. 16. P. 3560–3571.
- Li S.F., Jiang D.B., Lian Y., Yao Y.X.* Trends in day-to-day variability of surface air temperature in China during 1961–2012 // *Atmos. Ocean. Sci. Lett.* 2017. Vol. 10. № 2. P. 122–129.
- Lupo A.R., Oglesby R.J., Mokhov I.I.* Climatological features of blocking anticyclones: a study of Northern Hemisphere CCM1 model blocking events in present-day and double CO₂ concentration atmospheres // *Climate Dynam.* 1997. № 13. P. 181–195.
- Meehl G., Zwiers F. et al.* Trends in extreme weather and climate events: issues related to modeling extremes in projections of future climate change // *Bull. Meteorol. Soc.* 2000. Vol. 81. № 3. P. 427–436.
- Mitchell J.M.* An Overview of Climatic variability and its causal mechanisms // *Quat. Res.* 1976. Vol. 6. P. 481–493.
- Schär C., Vidale P., Lüthi D., Frei C., Häberli C., Liniger M., Appenzeller C.* The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves // *Nature*. 2004. Vol. 427. P. 332–336.
- Schneider T., Bischoff T., Plotka H.* Physics of changes in synoptic midlatitude temperature variability // *J. Climate*. 2015. V. 28. P. 2312–2331.
- Screen J.A.* Arctic amplification decreases temperature variance in northern mid- to high-latitudes // *Nature Clim. Change*. 2014. Vol. 4. P. 577–582.
- Screen J.A., Deser C., Sun L.* Reduced risk of North American cold extremes due to continued Arctic sea ice loss // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2015. Vol. 96. P. 1489–1503.

- Signal Processing Toolbox User's Guide // Natick: The MathWorks, Inc. 1993. 658 p.
- Szyga-Pluta K. Large day-to-day variability of extreme air temperatures in Poland and its dependency on atmospheric circulation // *Atmosphere*. 2021, Vol. 12. № 1. P. 80–100.
- Wan H., Kirchmeier-Young M.C. et al. Human influence on daily temperature variability over land // *Environ. Res. Lett.* 2021. Vol. 16. № 9. 94026.
- Weisheimer A., Palmer T.N. Changing frequency of occurrence of extreme seasonal temperature under global warming // *Geophys. Res. Lett.* 2005. Vol. 32. № 20. L20721.
https://doi.org/10.1029/2005GL023365
- Woolings T., Masato G., Dunn-Sigouin E., Barnes E. Exploring recent trends in Northern Hemisphere blocking // *Geoph. Res. Lett.* 2014. Vol. 1. P. 1–15.
- Yeh S.W., Hyun S.H., Park I.H., Zheng X.T. Surface temperature variability in climate models with large and small internal climate variability // *Quart. J. Royal Meteorol. Soc.* 2021. Vol. 147 (738). P. 3004–3016.
- Ylhäisi J.S., Räisänen J. Twenty-first century changes in daily temperature variability in CMIP3 climate models // *Int. J. Climatol.* 2014. Vol. 34. P. 1414–1428.
- Zhao S., Zhang J., Deng Y., Wang N. Understanding the Increasing Hot Extremes over the Northern Extratropics Using Community Atmosphere Model // *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.* 2021.
https://doi.org/10.1007/s13143-021-00264-z

Changes in Intensity of Daily Surface Air Temperature Variations in Different Intramonthly Variability Ranges from Russian Meteorological Stations in 1970–2018

E. D. Babina^{1, *} and V. A. Semenov^{1, 2, **}

¹ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*e-mail: babina@igras.ru

**e-mail: vasesemenov@ifaran.ru

The variability of daily surface air temperature in Russia is investigated using meteorological station data for 1970–2018. Four variability ranges are analysed: intramonthly (<30 days), interdaily (<3 days), synoptic (4–9 days), and the range of persistent weather regimes (10–30 days). Standard deviations are estimated for the reference (1970–1999) and modern (2000–2018) climatic periods for all seasons. During the modern period, the variability of average daily surface air temperature decreases (in general by 10–20%) while the average seasonal temperature increases. The largest variability decrease (33–37%) is found in spring and autumn to the Far East and the southeastern part of European Russia. In the European North of Russia in winter and autumn, average mean seasonal temperature increased by 4–5°C. In winter, the largest decrease of temperature variability (18–23%) in all ranges is in central and north-western regions of the European Russia. The variability increase is revealed in the southern areas of Russia. In winter, the increase is the largest (16%) in the southern regions of Siberia in the range of persistent weather regimes. In other seasons, the increase of variability is found in the interdaily variability range in the European Russia in spring (20%) and autumn (17%), and the East Siberia in summer (14%). In general, there is a prevailing tendency towards a decrease of intramonthly surface air temperature variability in Russia for the last 50 years.

Keywords: surface air temperature variability, climate change, synoptic variability, interdaily variability, intramonthly variability, Russia

REFERENCES

- Alekseev G.V. Arctic dimension of global warming. *Led i Sneg*, 2014, vol. 54, no. 2, pp. 53–68. (In Russ.).
- Astakhov N.V., Bashkirov A.V., Zhurilova O.E., Makarov O.Yu. Time-frequency analysis, wavelet-transform, windowed fourier transform. *Radiotekhnika*, 2019, no. 6 (8), pp. 109–112. (In Russ.).
- Babina E.D., Semenov V.A. Intramonthly variability of daily surface air temperature in Russia in 1970–2015. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2019, vol. 44, pp. 513–522.
- Bardin M.Yu., Platova T.V. Changes in temperature and precipitation extreme thresholds in Russia during the period of global warming. *Probl. Ekol. Monitoringa i Model. Ekosist.*, 2013, no. 25, pp. 71–93. (In Russ.).
- Barnes E.A., Dunn-Sigouin E., Masato G., Woolings T. Exploring recent trends in Northern Hemisphere blocking. *Geophys. Res. Lett.*, 2014, vol. 41, no. 2, pp. 638–644.
- Bekryaev R.V., Polyakov I.V., Alexeev V.A. Role of polar amplification in long-term surface air temperature variations and modern Arctic warming. *J. Clim.*, 2010, vol. 23, no. 14, pp. 3888–3906.
- Borodina A., Fischer E.M., Knutti R. Potential to constrain projections of hot temperature extremes. *J. Clim.*, 2017, vol. 30, no. 24, pp. 9949–9964.
- Cattiaux J., Douville H., Schoetter R., Parey S., Yiou P. Projected increase in diurnal and interdiurnal variations of European summer temperatures. *Geophys. Res. Lett.*, 2015, vol. 42, no. 3, pp. 899–907.

- Cheung A.H., Mann M.E., Steinman B.A., Frankcombe L.M., England M.H., Miller S.K. Comparison of low frequency internal climate variability in CMIP5 models and observations. *J. Clim.*, 2017, vol. 30, no. 12, pp. 4763–4776.
- Christoph M., Ulbrich U., Haak U. Faster determination of the intraseasonal variability of storm tracks using Murakami's recursive filter. *Mon. Weather Rev.*, 1995, vol. 123, no. 2, pp. 578–581.
- Cui J., Yang S., Li T. Intraseasonal variability of summertime surface air temperature over mid-high-latitude Eurasia and its prediction skill in S2S models. *J. Meteorol. Res.*, 2021, vol. 35, no. 5, pp. 815–830.
- Fischer E.M., Rajczak J., Schär C. Changes in European summer temperature variability revisited. *Geophys. Res. Lett.*, 2012, vol. 39, no. 19, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1029/2012GL052730>
- Fisher E.M., Schär C. Future changes in daily summer temperature variability: driving processes and role for temperature extremes. *Clim. Dyn.*, 2009, vol. 33, no. 7, pp. 917–935.
- Fredriksen H.B., Rypdal K. Spectral characteristics of instrumental and climate model surface temperatures. *J. Clim.*, 2016, vol. 29, pp. 1253–1268.
- Gough W., Shi B. Impact of coastalization on day-to-day temperature variability along China's East Coast. *J. Coast. Res.*, 2020, vol. 36, no. 3, pp. 451–456.
- Gruza G.V., Rankova E. Detection of changes in climate state, climate variability, and climate extremity. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2005, no. 4, pp. 31–43.
- Gruza G.V., Rankova E. *Nabludaemye i ozhidaemye izmeneniya klimata Rossii: temperatura vozdukha* [Observed and Expected Climate Changes over Russia: Surface Air Temperature]. Moscow: VNIIGMI-MTsD, 2012. 193 p.
- Guo F., Do V., Cooper R., et al. Trends of temperature variability: Which variability and what health implications? *Sci. Total Environ.*, 2021, vol. 768, 144487.
- Holmes C.R., Woollings T., Hawkins E., De Vries H. Robust future changes in temperature variability under greenhouse gas forcing and relationship with thermal advection. *J. Clim.*, 2016, vol. 29, no. 6, pp. 2221–2236.
- Kiktev D., Sexton D.M., Alexander L., Folland C.K. Comparison of modeled and observed trends in indices of daily climate extremes. *J. Clim.*, 2003, vol. 16, pp. 3560–3571.
- Kiktev D.B., Kruglova E.N., Kulikova E.A., Murav'ev A.V. Extreme weather events on seasonal and intraseasonal timescales in the context of climate change. *Gidrometeorol. Issled. i Prognoz.*, 2021, no. 1 (379), pp. 36–57. (In Russ.).
- Kovalenko O.Yu., Bardin M.Yu., Voskresenskaya E.N. Changes in characteristics of air temperature extremes over the Black Sea region and their variability associated with interannual large-scale climatic processes. *Fundam. i Priklandn. Climatol.*, 2017, no. 2, pp. 42–62. (In Russ.).
- Li S.F., Jiang D.B., Lian Y., Yao Y.X. Trends in day-to-day variability of surface air temperature in China during 1961–2012. *Atmos. Ocean. Sci. Lett.*, 2017, vol. 10, no. 2, pp. 122–129.
- Loginov S.V., Eliseev A.V., Mokhov I.I. Impact of non-gaussian statistics of atmospheric variables on extreme intramonth anomalies. *Izv., Atmos. Ocean. Phys.*, 2017, vol. 53, no. 3, pp. 269–278.
- Lupo A.R., Oglesby R.J., Mokhov I.I. Climatological features of blocking anticyclones: a study of Northern Hemisphere CCM1 model blocking events in present-day and double CO₂ concentration atmospheres. *Clim. Dyn.*, 1997, vol. 13, pp. 181–195.
- Meehl G.A., Zwiers F., Evans J., Knutson T., Mearns L., Whetton P. Trends in extreme weather and climate events: issues related to modeling extremes in projections of future climate change. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 2000, vol. 81, no. 3, pp. 427–436.
- Mitchell J.M. An overview of climatic variability and its causal mechanisms. *Quat. Res.*, 1976, vol. 6, no. 4, pp. 481–493.
- Mokhov I.I., Semenov V.A. Weather and climate anomalies in Russian regions related to global climate change. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2016, vol. 41, no. 2, pp. 84–92.
- Mokhov I.I., Timazhev A.V. Model assessment of possible changes of atmospheric blockings in the Northern Hemisphere under RCP scenarios of anthropogenic forcings. *Dokl. Earth Sci.*, 2015, vol. 460, no. 1, pp. 63–67.
- Polyak I.I. *Chislennyye metody analiza nabludenii* [Numerical Methods of Observation Analysis]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1975. 212 p.
- Popova V.V. Summertime warming in the European part of Russia and extreme heat in 2010 as manifestation of large-scale atmospheric circulation trends in the late 20th–early 21st centuries. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2014, vol. 39, no. 3, pp. 159–167.
- Rubinshtein K.G., Oganessian V.V., Grachev N.V. Simulation of surface air temperature and its variability. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2004, no. 12, pp. 30–37.
- Schär C., Vidale P.L., Lüthi D., Frei C., Häberli C., Liniger M.A., Appenzeller C. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 2004, vol. 427, pp. 332–336.
- Schneider T., Bischoff T., Płotka H. Physics of changes in synoptic midlatitude temperature variability. *J. Clim.*, 2015, vol. 28, no. 6, pp. 2312–2331.
- Screen J.A. Arctic amplification decreases temperature variance in northern mid- to high-latitudes. *Nat. Clim. Change*, 2014, vol. 4, no. 7, pp. 577–582.
- Screen J.A., Deser C., Sun L. Reduced risk of North American cold extremes due to continued Arctic sea ice loss. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 2015, vol. 96, no. 9, pp. 1489–1503.
- Semenov V.A. Link between anomalously cold winters in Russia and sea-ice decline in the Barents Sea. *Izv., Atmos. Ocean. Phys.*, 2016, vol. 52, no. 3, pp. 225–233.
- Semenov V.A., Shelekhova E.A., Mokhov I.I., Zuev V.V., Koltermann K.P. Influence of the Atlantic multidecadal oscillation on setting anomalous climate regimes in Northern Eurasia based on model simulation. *Dokl. Earth Sci.*, 2014, vol. 459, no. 6, pp. 742–745.
- Shakina N.P., Ivanova A.R. The blocking anticyclones: the state of studies and forecasting. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2010, vol. 35, no. 11, pp. 721–730.
- Shukurov K.A., Semenov V.A. Characteristics of winter surface air temperature anomalies in Moscow in 1970–

- 2016 under conditions of reduced sea ice area in the Barents Sea. *Izv., Atmos. Ocean. Phys.*, 2018, vol. 54, no. 1, pp. 10–24.
- Signal Processing Toolbox User's Guide*. Natick: The MathWorks, Inc. 1993. 658 p.
- Sporyshev P.V., Katsov V.M., Matyugin V.A. A correspondence between the model ensemble simulations and observations on the territory of Russia. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2012, vol. 37, no. 1, pp. 1–11.
- Stont G.I., Demidov A.N. Variability of air temperature over the south-eastern Baltic Sea by OIFP D-6 Data (2004–2013). *Vestn. Mosk. Gos. Univ., Ser 5: Geogr.*, 2015, no. 2, pp. 50–58. (In Russ.).
- Szyga-Pluta K. Large day-to-day variability of extreme air temperatures in Poland and its dependency on atmospheric circulation. *Atmosphere*, 2021, vol. 12, no. 1, pp. 80–100.
- Tischenko V.A., Khan V.M., Vilfand R.M., Roget E. Studying the development of atmospheric processes associated with blocking and quasistationary anticyclones in the Atlantic European sector. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2013, vol. 38, no. 7, pp. 444–455.
- Titkova T.B., Cherenkova E.A., Semenov V.A. Regional features of changes in winter extreme temperatures and precipitation in Russia in 1970–2015. *Led i Sneg*, 2018, no. 4, pp. 486–497. (In Russ.).
- Vinogradova V.V. Cold waves in winter in Russia since the second half of the 20th century. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2018, no. 3, pp. 37–46. (In Russ.).
- Volodin E.M., Gritsun A.S. Simulation of possible future climate changes in the 21st century in the INM-CM5 Climate model. *Izv., Atmos. Ocean. Phys.*, 2020, vol. 56, no. 3, pp. 218–228.
- Wan H., Kirchmeier-Young M.C., Zhang X. Human influence on daily temperature variability over land. *Environ. Res. Lett.*, 2021, vol. 16, no. 9, 094026.
- Weisheimer A., Palmer T.N. Changing frequency of occurrence of extreme seasonal temperature under global warming. *Geophys. Res. Lett.*, 2005, vol. 32, no. 20, L20721.
<https://doi.org/10.1029/2005GL023365>
- Yeh S.W., Hyun S.H., Park I.H., Zheng X.T. Surface temperature variability in climate models with large and small internal climate variability. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 2021, vol. 147, pp. 3004–3016.
- Ylhäisi J.S., Räisänen J. Twenty-first century changes in daily temperature variability in CMIP3 climate models. *Int. J. Climatol.*, 2014, vol. 34, no. 5, pp. 1414–1428.
- Zhao S., Zhang J., Deng Y., Wang N. Understanding the increasing hot extremes over the northern extratropics using community atmosphere model. *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.*, 2021.
<https://doi.org/10.1007/s13143-021-00264-z>