

## Тенденции изменения основных климатических показателей на территории России в период 1976—2023 годов

Ю. П. Переведенцев\*, А. А. Васильев\*\*,  
В. В. Гурьянов\*, Н. А. Мирсаева\*,  
А. А. Николаев\*

*Рассмотрены пространственно-временные изменения основных характеристик приземных полей температуры воздуха, атмосферного давления, суммарной солнечной радиации и общей облачности с учетом влияния атмосферной циркуляции на территории России в период 1976—2023 гг. Для оценки тенденций изменения климатических показателей во времени рассчитаны коэффициенты наклона линейного тренда, а также коэффициенты корреляции для выявления взаимосвязей между метеорологическими полями, что позволило выявить региональные различия в их динамике в условиях современного потепления климата.*

**Ключевые слова:** изменения климата, температура воздуха, атмосферное давление, суммарная радиация, облачность, индексы атмосферной циркуляции.

**DOI:** 10.52002/0130-2906-2025-10-44-62

### 1. Введение

Проблема современных изменений климата и их влияния на человечество выдвинулась в ряд первоначально важных [17]. Современное состояние этой проблемы и оценки будущих климатических изменений представлены в Шестом оценочном докладе МГЭИК (2022 г.) [30] и Третьем оценочном докладе Росгидромета (2022 г.) [27]. Повышение глобальной приповерхностной температуры сопровождается быстрым увеличением числа природных катастроф, в первую очередь вследствие гидрометеорологических аномалий [18]. В качестве основной причины современных изменений климата рассматривается антропогенный фактор, поэтому в 2015 г. было заключено Парижское соглашение, направленное на ограничение выбросов парниковых газов в атмосферу, а в последующие годы состоялся ряд международных конференций с обсуждением широкого круга вопросов по снижению воздействия на климатическую систему и адаптации стран к происходящим и будущим климатическим изменениям. Вместе с тем, по мнению авторов работы [17], современная наука о климате еще не в состоя-

\* Казанский (Приволжский) федеральный университет; e-mail: [upereved@kpfu.ru](mailto:upereved@kpfu.ru) (Переведенцев Юрий Петрович).

\*\*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации.

нии дать однозначный ответ на вопрос: какова главная причина современного изменения климата? Решение этой проблемы напрямую связано с накоплением качественных метеорологических наблюдений, их статистической обработкой и анализом, построением и развитием климатических моделей. В России первые метеорологические наблюдения относятся к 1725 г. (г. Санкт-Петербург) [12], записи первых метеорологических наблюдений в Москве сделаны в 1731 г. [10], а в Казани регулярные метеорологические наблюдения ведутся с 1812 г. [23]. По инициативе профессора Казанского университета А. Я. Купфера 190 лет тому назад (в 1834 г.) в России была создана гидрометеорологическая служба.

Изучению климата России, начиная с известной монографии К. С. Велесовского “О климате России”, опубликованной в 1857 г., посвящено много исследований. Одной из последних работ обобщающего характера является книга “Климат России”, подготовленная сотрудниками ГГО им. А. И. Воейкова [11]. В этих работах подчеркнута необходимость комплексного исследования климатических процессов с учетом воздействия внешних (солнечная радиация) и внутренних (общая циркуляция атмосферы, влагооборот, распределение материков и океанов, рельеф и др.) факторов. Прикладные вопросы учета климатических факторов, влияющих на жизнедеятельность населения России, рассмотрены в работе [9]. Для регулярного анализа состояния и изменений климата по данным наблюдений в России создана система мониторинга климата [7, 8].

Анализ изменений основных климатических показателей на территории Российской Федерации в период 1976—2012 гг. представлен в докладе [6], в более поздней работе [4] рассмотрены основные характеристики температурного режима у поверхности суши земного шара в период 1850—2019 гг. Отмечено, что за 1976—2019 гг. средняя по России среднегодовая температура увеличивается со скоростью  $0,47^{\circ}\text{C}$  за десятилетие — в 2,5 раза быстрее, чем глобальная приповерхностная температура. Здесь же представлен анализ трендов температуры в регионах России за 1976—2019 гг. Тенденции современных климатических изменений учитываются при разработке прогностических систем разных пространственных и временных масштабов. Так, в работе [13] дана оценка современного состояния и перспектив развития климатических прогнозов как в нашей стране, так и за рубежом. В работе [28] рассмотрены результаты сезонного прогнозирования температуры воздуха и осадков на 2019—2020 гг. с учетом особенностей крупномасштабной атмосферной циркуляции в Северном полушарии.

Анализ современной гидрометеорологической информации убедительно показывает, что в XX в. — начале XXI в. климат Земли изменялся беспрецедентными темпами. Естественно, что наибольшее внимание при этом уделяется оценке скорости повышения приземной температуры воздуха как на всем земном шаре, так и в его регионах [5]. При этом происходят изменения и других физических параметров климатической системы, включая такие характеристики земной атмосферы, как поля атмосферного давления, облачности, осадков и др. Таким образом, представляет научный и практический интерес комплексная оценка проявления современного потепления климата как в пространственно-временной изменчивости метеополей, так и в характере их взаимосвязей в различных географичес-

ких регионах. Динамике основных климатических характеристик посвящено много работ как в нашей стране, так и за рубежом.

Так, в работе [19] дана оценка вклада радиационного воздействия парниковых газов в атмосфере, а также ключевых мод естественной климатической изменчивости (атлантической мультидесятилетней осцилляции, Эль-Ниньо — южного колебания, тихоокеанской десятилетней осцилляции) в формирование тренда приповерхностной температуры разных широтных зон Северного полушария для периодов разной продолжительности. Показано, что с увеличением временного интервала вклад парниковых газов возрастает, а естественных климатических мод — уменьшается. Роль циркуляционных мод заметна для 20-летних и 30-летних интервалов, для временных интервалов более 50 лет их соответствующий вклад в температурные тренды разных широт намного меньше.

В настоящей статье рассмотрены сезонные тенденции изменения температурного режима на территории России в период 1976—2023 гг. с использованием архивных данных из фонда ВНИИГМИ-МЦД. Поскольку на изменения температуры оказывают влияние барико-циркуляционные процессы и радиационно-облачный фактор, к анализу привлекаются циркуляционные моды, поля атмосферного давления, суммарной радиации и общей облачности. Все это позволяет выявить современные тенденции изменения основных климатических показателей и оценить степень взаимосвязанности различных физических величин. Сравнение результатов с ранее полученными данными позволяет оценить динамику климатических изменений в последние десятилетия и степень их достоверности.

В более ранних работах были проанализированы изменения температуры воздуха и атмосферных осадков как на территории Приволжского федерального округа [24, 33], так и на территории России в целом в 1979—2019 гг. с использованием данных 1251 станции из фонда ВНИИГМИ-МЦД [22]. Изменчивость температурного режима на территории Северного полушария проанализирована в работах [32, 34].

Цель настоящей статьи — оценить тенденции пространственно-временной изменчивости основных климатических показателей на территории России в период 1976—2023 гг. с учетом влияния атмосферной циркуляции в условиях активной фазы глобального потепления климата.

## 2. Материалы и методы

В качестве исходных данных в работе использованы ежемесячные данные о температуре воздуха, об атмосферном давлении и общей облачности 179 метеостанций из фонда ВНИИГМИ-МЦД и данные о суммарной радиации [31] по всей территории России в период 1976—2023 гг.

Многолетние данные о температуре воздуха, об атмосферном давлении, о суммарной солнечной радиации и об общей облачности подвергались статистической обработке. Находились средние сезонные значения, средние квадратические отклонения (СКО), коэффициенты наклона линейного тренда (КНЛТ), коэффициенты корреляции между метеопараметрами и индексами атмосферной циркуляции (североатлантическим колебанием (NAO), арктической осцилляцией (AO), скандинавским колебанием (SCAND), колебанием Восточная Атлантика — Западная Россия (EA/WR)).

### 3. Результаты и обсуждение

Рассмотрим распределение температуры воздуха (ТВ) и скорости ее изменения по регионам России по сезонам.

Зимой наибольшие значения температуры отмечаются на юге и юго-западе европейской части России (ЕЧР) (от 2 до 4°C), на ЕЧР изотермы имеют меридиональный характер. На территории Восточной Сибири под влиянием азиатского антициклона формируется обширная область низких значений температуры (–34...–36°C), затем происходит повышение ТВ к побережью Тихого океана (до –6°C на Камчатке).

Весной изотермы принимают зональный характер, происходит увеличение ТВ от –16,1°C на побережье Северного Ледовитого океана до 12°C в районе Краснодара. На юге Восточной Сибири ТВ достигает 3°C. В летний период на ЕЧР, в Сибири изотермы имеют зональный характер, а в Приморье вдоль побережья Тихого океана — меридиональный. При этом на территории ЕЧР ТВ увеличивается с севера на юг от 7°C на побережье Северного Ледовитого океана до 23,1°C на Северном Кавказе, в Сибири с севера на юг ТВ повышается от 7—8 до 17—19°C.

Осенью изотермы на территории России, за исключением обширной области в Средней и Восточной Сибири, где формируется очаг холода (ТВ = –12°C), имеют зональный характер. Температура воздуха на ЕЧР растет с севера на юг от –1 до 14°C, заметно повышение температуры в сторону побережья Тихого океана от –10°C в Восточной Сибири до 5°C на Камчатке.

Рассмотрим особенности распределения межгодовой изменчивости температуры воздуха (величины СКО) по сезонам. Зимой зона максимальных значений СКО тянется с северо-запада ЕЧР на юго-восток, где северо-восточнее Новосибирска СКО достигает 3,3°C. На юге ЕЧР СКО = 1,6°C, в районе Камчатки СКО = 1,3°C. Весной наибольшие значения СКО отмечаются на побережье Северного Ледовитого океана, где в районе о. Диксон величина СКО ~2,6°C; на южной границе России значения СКО наименьшие и изменяются от 1,2 до 1,4°C. Летом картина наиболее простая и однородная: величина СКО увеличивается с юга на север от 1,1°C до побережья Северного Ледовитого океана, где достигает 1,6°C. Осенью значения СКО повсеместно возрастают с юга на север — от 1,3 до 2,3°C на сибирском побережье Северного Ледовитого океана.

Годовая амплитуда ТВ на территории России возрастает от 30°C на западе ЕЧР до 50°C в Якутске. При этом скорость ее уменьшения по линейному тренду на территории Сибири максимальная, порядка 1,1°C/10 лет.

Коэффициенты наклона линейного тренда (КНЛТ) температуры имеют следующее распределение по территории России по сезонам.

Зимой на территории ЕЧР КНЛТ температуры изменяется в пределах 0,4—0,8°C/10 лет (величина КНЛТ растет с востока на запад ЕЧР), в Сибири КНЛТ изменяется в значительных пределах — от 0,3 до 1,5°C/10 лет (на Таймыре). Повсеместно происходит потепление, за исключением юга Западной Сибири, где КНЛТ < 0 (рис. 1а).

Весной картина усложняется, наблюдаются большие перепады КНЛТ по территории России, что свидетельствует о разной скорости потепления (повсеместно КНЛТ > 0). На ЕЧР КНЛТ растет с запада на восток от 0,35

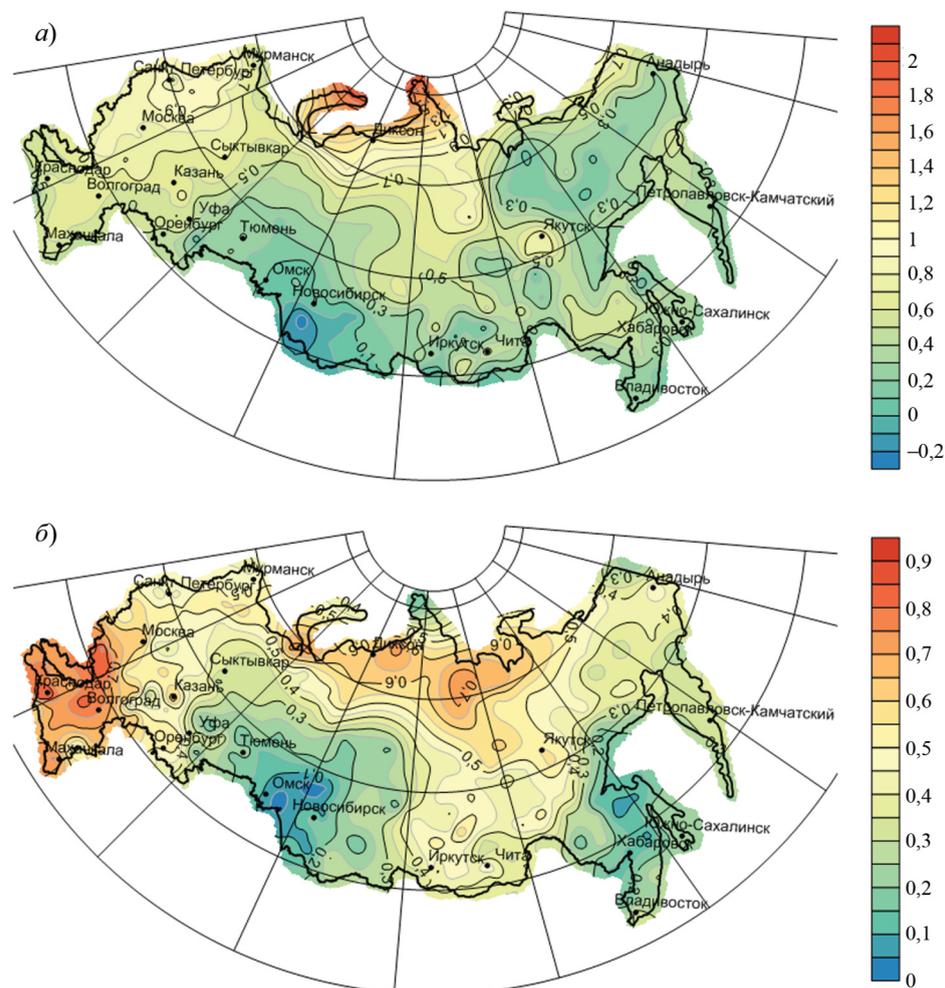


Рис. 1. Значения коэффициента наклона линейного тренда (1979—2023 гг.) приземной температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$ ) на территории России зимой (а) и летом (б).

до  $0,45^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$ , на севере Средней Сибири скорость потепления достигает  $1,2^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$ . В Приморье скорость потепления менее заметна —  $0,45^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$ .

Летом также на всей территории России наблюдается повышение температуры воздуха с разной скоростью. Так, на западе ЕЧР значения КНЛТ достигают  $0,8^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$ , в Сибири величина КНЛТ изменяется от  $0,1$  до  $0,7^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$  (рис. 1б).

Осенью пространственная структура распределения КНЛТ имеет сходство с летней. На территории ЕЧР КНЛТ достигают  $0,6$ — $0,7^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$ , в северной части Сибири значения КНЛТ заметно больше, чем на остальной ее территории (до  $1,2^{\circ}\text{C}/10 \text{ лет}$ ).

Распределение КНЛТ средней годовой температуры отличается региональной неоднородностью: наибольшие его значения отмечаются на аркти-

ческом побережье ( $1,2^{\circ}\text{C}/10$  лет на Таймыре), на ЕЧР КНЛТ  $\sim 0,6^{\circ}\text{C}/10$  лет, в Сибири на севере КНЛТ порядка  $0,9^{\circ}\text{C}/10$  лет, а на юге  $0,4^{\circ}\text{C}/10$  лет, на Дальнем Востоке в районе Сахалина значения КНЛТ невелики —  $0,3^{\circ}\text{C}/10$  лет.

Эти результаты для территории России согласуются с данными работы [4], согласно которым в период 1976—2019 гг. по среднегодовым данным вдоль всего арктического побережья России тренд ТВ достигает  $0,8^{\circ}\text{C}/10$  лет и более, на островах Баренцева и Карского морей —  $1,5^{\circ}\text{C}/10$  лет, на Таймыре и Камчатке КНЛТ составляет  $\sim 1,2^{\circ}\text{C}/10$  лет, а на ЕЧР величина тренда ТВ достигает  $0,7^{\circ}\text{C}/10$  лет.

Для оценки вклада атмосферной циркуляции в изменения температуры воздуха рассчитывались коэффициенты парной корреляции между среднесезонными значениями ТВ на территории России и индексами атмосферной циркуляции (NAO, AO, SCAND, EA/WR) (при объеме выборки  $n = 48$  лет и при 95%-ном уровне значимости достоверное значение коэффициента корреляции  $r = 0,29$ ).

Анализ временных рядов циркуляционных индексов, характеризующих низкочастотную изменчивость циркуляции атмосферы, указывает на динамику их интенсивности и выявляет смену фаз (положительных на отрицательные и наоборот), на что термические условия регионов реагируют по-разному. Таким образом, результаты расчетов коэффициентов корреляции между температурой воздуха и индексами циркуляции для разных временных периодов будут отличаться друг от друга. Так, в случае положительной фазы NAO более глубокие циклоны перемещаются в Северной Атлантике с запада на восток, что приводит к более теплым и влажным режимам погоды в Европе. В случае отрицательной фазы NAO уменьшается число циклонов, перемещающихся с запада на восток, поступление теплых и влажных воздушных масс в Европу и Западную Сибирь ослабляется [15].

Следует отметить, что согласно данным работы [26], наблюдаемые с середины XX в. на севере Евразии изменения температуры воздуха могут быть объяснены аномалиями нескольких циркуляционных мод, что подтверждается и расчетами авторов. В работах [1—3] также большое значение придается роли крупномасштабной атмосферной циркуляции в формировании температурного режима в регионах Северного полушария.

Получено, что наиболее тесные положительные связи между ТВ в узлах сетки и индексом североатлантического колебания (NAO) устанавливаются зимой на северо-западе и в центре ЕЧР, где величина  $r = 0,7$ , и в центре Западной Сибири ( $r = 0,5$ ), т. е. связи наиболее тесные на территории ЕЧР (рис. 2а). В остальные сезоны на территории России связи между ТВ и индексом NAO заметно слабее, статистически незначимые. С арктической осцилляцией (индекс AO) ТВ хорошо коррелирует также зимой. При этом на северо-западе ЕЧР  $r = 0,7$ — $0,8$ , на юге Сибири  $r = 0,6$ . В теплый период связи ослабевают, и лишь осенью происходит их усиление (в центре Сибири  $r = 0,5$ ).

Зимой на обширной территории России, начиная с запада ЕЧР и до Средней Сибири, формируется поле отрицательных значений коэффициента корреляции  $r$  между ТВ и индексом SCAND. Так, в районе Омска

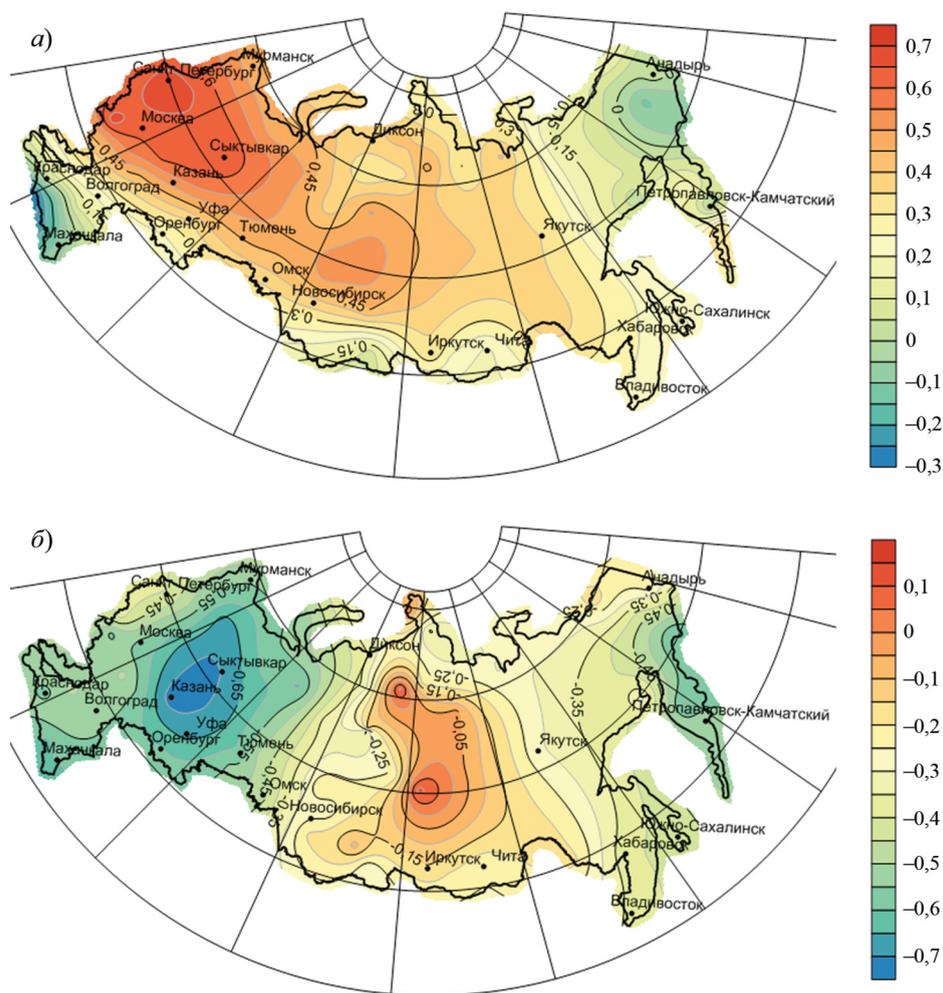


Рис. 2. Коэффициенты корреляции между температурой воздуха и индексом NAO зимой (а), между температурой воздуха и индексом EA/WR летом (б).

$r = -0,8$ . Весной выделяются повышенными значениями  $r$  восток ЕЧР и юг Западной Сибири ( $r = -0,7$ ).

Таким образом, если циркуляционные моды NAO, АО способствуют повышению температуры воздуха в зимний период, то скандинавское колебание, наоборот, связано с понижением ТВ. Колебание Восточная Атлантика — Западная Россия (EA/WR) также значительно влияет на ТВ на территории России, особенно летом. Так, в этот сезон коэффициенты корреляции  $r$  отрицательны и достигают на востоке ЕЧР максимальных значений  $r = -0,8$ , что свидетельствует о сильном охлаждающем влиянии EA/WR (рис. 2б). При этом вклад изменений индекса NAO в дисперсию зимней температуры на северо-западе ЕЧР достигает 49%, вклад SCAND в дисперсию ТВ на территории Западной Сибири зимой доходит до 64%, так же как и вклад EA/WR летом ТВ на востоке ЕЧР.

Результаты расчетов коэффициентов корреляции между ТВ и другими индексами циркуляции (восточно-атлантическим, полярно-евразийским и др.) не выявили более тесных связей.

Следует отметить, что использованные циркуляционные моды определяются структурными особенностями поля давления на уровне моря и прежде всего центрами действия атмосферы. В частности, индекс северо-атлантического колебания, который является главной модой междесятилетней изменчивости атмосферной циркуляции Северного полушария, непосредственно определяется характеристиками исландского циклона и азорского антициклона [20]. В связи с этим представляет интерес анализ сезонного распределения давления воздуха на территории России в период 1976—2023 гг.

Распределение атмосферного давления ( $P$ ) по территории России имеет следующие сезонные особенности. Зимой фон давления повышенный. Давление возрастает с запада (в центре ЕЧР  $P = 1015$  гПа) на восток, где на обширной территории Сибири достигает 1020 гПа, а в ее южных районах — 1030 гПа, что происходит под воздействием сибирского максимума. Давление значительно снижается на побережье Тихого океана (до 1004 гПа) под влиянием алеутского минимума. Северо-запад ЕЧР испытывает влияние исландского минимума, поэтому здесь  $P = 1010$  гПа.

Весной пространственная картина распределения давления достаточно однородная: на ЕЧР  $P = 1015$  гПа, на юге Западной Сибири 1019 гПа, на Чукотке 1017 гПа, в районе Сахалина 1011 гПа.

В летний сезон на всей территории России давление принимает минимальные значения: на ЕЧР изменяется в пределах 1012—1013 гПа, на Дальнем Востоке  $P = 1006$  гПа, в Сибири поле размытое (~1009 гПа).

Осенью давление повышается от 1012 гПа на северо-западе ЕЧР до 1022 гПа на юге Западной Сибири. На европейском побережье Северного Ледовитого океана  $P = 1010$  гПа, в районе Сахалина — 1014 гПа.

Амплитуда годового хода давления на территории России достигает максимума на юге Восточной Сибири (32 гПа) и минимальна на северо-западе ЕЧР (4—6 гПа).

Наибольшие межгодовые изменения СКО давления происходят зимой. Выделяется побережье Северного Ледовитого океана (до 5,2 гПа), в направлении с севера на юг по всей территории России значения СКО уменьшаются до 3,2 гПа. Выделяется очаг повышенного значения СКО на северо-востоке ЕЧР и севере Западной Сибири (до 5,2—6,2 гПа).

Весной значения СКО повсеместно уменьшаются. Изолинии СКО имеют зональный характер, его значения убывают с 3,8 гПа (побережье Северного Ледовитого океана) до 1,8 гПа (юг Сибири). Лишь в районе Камчатки наблюдается увеличение СКО до 4,3 гПа.

Летом значения СКО наименьшие в году — ~ 1,8 гПа на большей части территории России, за исключением района Камчатки, где СКО ~ 3,4 гПа.

Осенью поле изолиний СКО принимает зональный характер, рост СКО с юга на север составляет от 1,6 до 3,6 гПа.

В зимний период, согласно оценкам КНЛТ, на территории России выделяются две обширные области с заметным изменением атмосферного давления: на побережье Северного Ледовитого океана от Новой Земли до

Таймыра сформировалась область повышения давления (в районе Ямала до  $1,0 \text{ гПа}/10 \text{ лет}$ ), которая тянется с северо-востока на юго-запад ЕЧР. На всей территории России давление растет со скоростью от  $0,2$  до  $0,8 \text{ гПа}/10 \text{ лет}$ , исключение составляет Камчатка, где давление падает ( $-0,6 \text{ гПа}/10 \text{ лет}$ ). Таким образом, зимой картина достаточно однородная — изолинии КНЛТ окаймляют очаг повышенного давления на побережье Северного Ледовитого океана.

Весной картина распределения КНЛТ давления противоположна зимней. В окрестности Новой Земли скорость падения давления достигает  $-1,4 \text{ гПа}/10 \text{ лет}$ , на всей территории России давление уменьшается: на ЕЧР ложбина понижения давления вытянута с севера на юг (в центре КНЛТ порядка  $-1,0 \text{ гПа}/10 \text{ лет}$ ), в Сибири на побережье Северного Ледовитого океана КНЛТ  $\sim -0,8 \text{ гПа}/10 \text{ лет}$ , а на юге этот показатель снижается до  $0$ .

Летом в центре территории ЕЧР отмечается повышение атмосферного давления со скоростью  $0,6 \text{ гПа}/10 \text{ лет}$ . В Арктике сформировалась обширная зона падения давления (до  $-0,5 \text{ гПа}/10 \text{ лет}$ ), поэтому на сибирском побережье Северного Ледовитого океана давление падает, и лишь в южных районах Сибири  $P$  слабо растет ( $0,2 \text{ гПа}/10 \text{ лет}$ ). Небольшой по размерам очаг падения давления отмечается в районе Сахалина ( $-0,2 \text{ гПа}/10 \text{ лет}$ ). Осенью на территории ЕЧР давление слабо растет: на западе ЕЧР КНЛТ  $\sim 0,4 \text{ гПа}/10 \text{ лет}$ , далее к востоку происходит ослабление этого процесса, на большей части территории Сибири фон изменения давления практически не меняется, и лишь на северо-востоке Сибири наблюдается понижение давления со скоростью  $-0,6 \text{ гПа}/10 \text{ лет}$ . Значения КНЛТ среднего годового давления на территории России невелики. Севернее  $60^\circ$  с. ш. преобладают отрицательные значения ( $-0,1 \text{ гПа}/10 \text{ лет}$ ), южнее — положительные ( $0,1 \text{ гПа}/10 \text{ лет}$ ), т. е. слабые тенденции годовых изменений.

Следует отметить, что согласно данным доклада [6] приземное давление во все сезоны 1946—2012 гг. уменьшалось практически на всей территории России, значения КНЛТ были преимущественно отрицательными. При этом скорость понижения давления в период 1946—2012 гг. по сравнению с более ранним периодом 1946—2005 гг. уменьшилась почти вдвое. Полученные результаты также подтверждают, что изменения атмосферного давления на территории России в период 1976—2023 гг. невелики.

Рассмотрим корреляцию температуры воздуха с приземным атмосферным давлением в период 1976—2023 гг. на территории России.

Зимой значимая отрицательная корреляция ( $r = -0,6 \dots -0,7$ ) возникает в обширной области юга Западной Сибири и центра Средней Сибири, что объясняется действием зимнего сибирского антициклона (повышение давления приводит к похолоданию).

Весной на севере Западной Сибири и в Прикаспийском регионе  $r = -0,4 \dots -0,5$ , на севере в районе Новой Земли  $r = -0,5$ .

Летом положительные связи возникают в центре ЕЧР ( $r = 0,6$ ) и на Южном Урале ( $r = 0,4$ ).

Осенью отрицательная корреляция отмечается на юге Западной Сибири ( $r = -0,6$ ).

Таким образом, между температурой и давлением нет устойчивой связи по всей территории России.

К числу основных факторов, определяющих температурный режим атмосферы, относятся лучистый коротковолновый приток тепла и облачность.

Рассмотрим пространственно-временную изменчивость суммарной радиации (СР) на территории России в период 1979—2022 гг. с использованием данных работы [31].

В зимний период отмечается зональное распределение СР на всей территории России. Происходит ее увеличение от 20  $\text{МДж}/\text{м}^2$  на побережье Северного Ледовитого океана до 180  $\text{МДж}/\text{м}^2$  на юге ЕЧР; на юге Дальнего Востока СР достигает 260  $\text{МДж}/\text{м}^2$ .

В весенний период приход СР значительно возрастает, на севере России достигает 420  $\text{МДж}/\text{м}^2$ , а в южных районах ЕЧР и Сибири — 500  $\text{МДж}/\text{м}^2$ .

В летний период отмечаются максимальные величины приходящей СР: она возрастает от 500—520  $\text{МДж}/\text{м}^2$  на побережье Северного Ледовитого океана до 660  $\text{МДж}/\text{м}^2$  на юге ЕЧР и 600  $\text{МДж}/\text{м}^2$  на юге Сибири; в районе Владивостока СР составляет 540  $\text{МДж}/\text{м}^2$ .

Осенью наблюдается зональное распределение СР: она плавно возрастает от 80  $\text{МДж}/\text{м}^2$  на побережье Северного Ледовитого океана до 280  $\text{МДж}/\text{м}^2$  на юге ЕЧР и Сибири. Таким образом, на всей территории России хорошо проявляется годовой ход приходящей суммарной солнечной радиации, амплитуда которого достигает максимума (650  $\text{МДж}/\text{м}^2$ ) на азиатском арктическом побережье, на территории ЕЧР она изменяется в пределах 550—570  $\text{МДж}/\text{м}^2$ .

Значения СКО суммарной радиации зимой наибольшие изменения испытывают на юго-западе ЕЧР (до 20  $\text{МДж}/\text{м}^2$ ) и на Дальнем Востоке (18  $\text{МДж}/\text{м}^2$ ). В Сибири СКО изменяется от 2 до 4  $\text{МДж}/\text{м}^2$ .

Весной значения СКО солнечной радиации заметно увеличиваются и на побережье Северного Ледовитого океана достигают 38  $\text{МДж}/\text{м}^2$ , а в районе Камчатки 56  $\text{МДж}/\text{м}^2$ .

Летом значения СКО солнечной радиации достигают своих максимальных значений: на северо-западе ЕЧР СКО = 46  $\text{МДж}/\text{м}^2$ , в центре Сибири СКО = 31—34  $\text{МДж}/\text{м}^2$ , на Дальнем Востоке СКО = 37  $\text{МДж}/\text{м}^2$ .

Осенью величины СКО солнечной радиации уменьшаются и изменяются на территории России в пределах 12—24  $\text{МДж}/\text{м}^2$ .

Рассмотрим особенности изменений СР во времени.

Зимой на большей части Европейской России наблюдается уменьшение приходящей СР с максимальной скоростью на юге этого региона (КНЛТ =  $-13 \text{ МДж}/\text{м}^2$  за 10 лет). На остальной территории России, за исключением тихоокеанского побережья, где КНЛТ =  $-4 \text{ МДж}/\text{м}^2$  за 10 лет, наблюдается ее слабый рост с максимумом 2  $\text{МДж}/\text{м}^2$  за 10 лет на юге Восточной Сибири (рис. 3а).

Весной на юго-западе ЕЧР наблюдается наибольшая скорость уменьшения суммарной солнечной радиации (КНЛТ достигает  $-14,0 \text{ МДж}/\text{м}^2$  за 10 лет). На остальной территории России поле КНЛТ суммарной радиации размытое, КНЛТ изменяется от 0 до 2,0  $\text{МДж}/\text{м}^2$  за 10 лет, на востоке вдоль всего побережья Тихого океана КНЛТ < 0 (в районе Петропавловска-Камчатского КНЛТ =  $-14,0 \text{ МДж}/\text{м}^2$  за 10 лет).

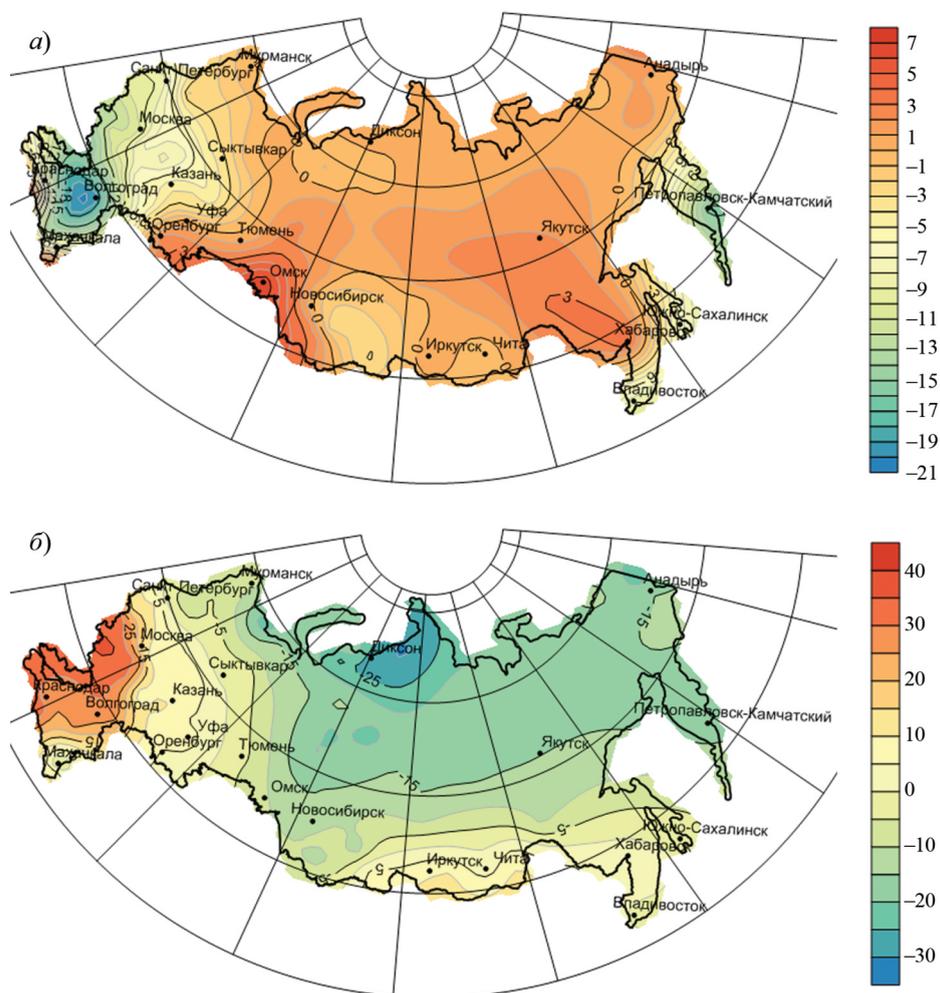


Рис. 3. Значения коэффициента наклона линейного тренда (1979—2022 гг.) суммарной радиации ( $МДж/м^2$  за 10 лет) по территории России зимой (а) и летом (б).

Согласно работе [25], в период 1976—1995 гг. для суммарной и отраженной радиации на континентальных станциях территории России, удаленных от океанов, характерен отрицательный тренд в зимний сезон, что сохранилось и в более поздний период.

Согласно данным доклада [6], если в период 1961—1985 гг. среднегодовая суммарная радиация на территории России в целом уменьшалась, за исключением небольшой территории на северо-западе ЕЧР и Чукотки, то в более поздний период 1986—2010 гг. в центральных и южных районах ЕЧР отмечен рост поступления суммарной радиации. В то же время на азиатской части России, и особенно в Средней Сибири, выявилась тенденция к уменьшению суммарной радиации, что свидетельствует о долговременной нестабильности радиационного режима в российских регионах.

Летом на крайнем юго-западе ЕЧР значения КНЛТ солнечной радиации достигают  $20,0 МДж/м^2$  за 10 лет, в то же время на европейском аркти-

ческом побережье происходит уменьшение потоков солнечной радиации со скоростью  $-5 \text{ МДж/м}^2$  за 10 лет; на большей части территории Сибири солнечная радиация также уменьшается со скоростью, достигающей  $-5,0 \text{ МДж/м}^2$  за 10 лет в центре Сибири; вдоль всего тихоокеанского побережья суммарная солнечная радиация уменьшается со скоростью, достигающей  $-30,0 \text{ МДж/м}^2$  за 10 лет (рис. 3б).

Осенью на большей части ЕЧР солнечная радиация увеличивается. Западнее Москвы КНЛТ =  $25,0 \text{ МДж/м}^2$  за 10 лет, на севере и в средней части Сибири солнечная радиация уменьшается (КНЛТ =  $-15,0 \text{ МДж/м}^2$  за 10 лет), а на юге Сибири, наоборот, отмечается ее рост: КНЛТ =  $5,0 \text{ МДж/м}^2$  за 10 лет.

Рассмотрим корреляцию между температурой и приходящей суммарной радиацией.

Зимой на всей территории России  $r < 0$ , наибольшие значения в центре ЕЧР ( $r = -0,5$ ); в целом связи слабые.

Весной связи усиливаются, картина достаточно однородная, коэффициенты корреляции имеют отрицательный знак повсеместно, в районе Среднего Урала и центра Западной Сибири  $r = -0,50$ .

В летний период на всей территории России, за исключением побережья Северного Ледовитого океана, где  $r = -0,40$ , устанавливаются положительные связи температуры с приходящей СР. На юго-западе ЕЧР и Южном Урале связи наиболее тесные ( $r = 0,70$ ), в Южной Сибири  $r = 0,40$ .

Осенью на юге ЕЧР  $r > 0$  ( $r_{\max} = 0,40$  на Северном Кавказе), а на всей остальной территории  $r < 0$  (в районе Чукотки  $r = -0,40$ ). В целом связи достаточно слабые на юге Сибири и Дальнего Востока ( $r = -0,10 \dots -0,20$ ). Естественно, характер этих связей определяется и состоянием облачности.

В работе [14] отмечено, что облачный покров как самый мощный и изменчивый регулятор радиационного режима атмосферы и подстилающей поверхности принадлежит к числу ведущих факторов формирования климата. На это обстоятельство ранее было акцентировано внимание в работе [16].

Облачность является важным компонентом формирования термического режима приземного слоя атмосферы. Она способствует уменьшению притока коротковолновой радиации от Солнца и оттока длинноволновой радиации от Земли в космос, что создает парниковый эффект. Согласно работе [29], в холодное полугодие тепляющий эффект облачности определяет  $\sim 50\%$  общей изменчивости температуры, в теплое полугодие охлаждающий эффект облачности определяет  $\sim 25\%$  ее общей изменчивости. В среднем во всех случаях изменение количества облачности на 0,1 балла сопровождается изменением температуры воздуха примерно на  $0,4\text{—}0,5^\circ\text{C}$ . Согласно работе [14], летом в 63% случаев увеличение количества облаков сопровождается понижением температуры, зимой в 72% случаев — ее повышением.

В докладе [21] отмечено, что пространственное осреднение среднегодовых аномалий общей облачности по данным 150 станций на территории России выявило во второй половине XX в. тенденцию к увеличению общей облачности, наиболее выраженную в азиатской части России на интервале 1961—1990 гг. ( $0,08 \text{ балла/10 лет}$ ). Однако на рубеже XX—XXI вв. сохранения положительной тенденции не наблюдалось.

Как известно, формирование и развитие всех форм облаков тесно связано с синоптическими вихрями, в зарождении и последующем развитии которых важную роль играет бароклинность атмосферы (адвекция тепла и холода, зависящая от горизонтальных контрастов температуры).

Рассмотрим сезонное распределение общей облачности на территории России в период 1976—2023 гг.

В зимний период на западе ЕЧР в условиях влияния североатлантических циклонов количество облаков достигает *7,2 балла*, на востоке ЕЧР их количество уменьшается до *6,4 балла*, выделяется обширная область с малым количеством облаков в Восточной Сибири, где на юге региона отмечается ее минимальное значение (*4 балла*), а в центре *4,8—5,2 балла*, что объясняется возникновением в этот периода азиатского (сибирского) антициклона. На тихоокеанском побережье Дальнего Востока количество облаков достигает *6,4 балла*.

Весной количество облаков на территории России уменьшается. На западе ЕЧР их количество наибольшее (*~7,0 балла*), на востоке ЕЧР, Урале, в Сибири заметно уменьшается, и на побережье Северного Ледовитого океана от о. Диксон до Анадыря возникает обширная область с минимальными значениями (до *5,5 балла*), в районе Сахалина количество облаков вновь возрастает (до *6,8 балла*).

Летом наблюдается квазизональное распределение облачности по территории России. Наибольшее их количество отмечается на побережье Северного Ледовитого и Тихого океанов (до *7,6 балла*), на юге ЕЧР — минимальное значение (*5,6 балла*). В южных районах Сибири количество общей облачности изменяется в пределах *6,0—6,8 балла*, в районе Южно-Сахалинска — максимум *7,6 балла*.

Осенью количество облаков на территории ЕЧР и юге Западной Сибири заметно возрастает. Их максимум отмечается в районе Мурманска (*7,8 балла*). Минимум облаков формируется на юге Восточной Сибири (*5,5 балла* в Забайкалье).

Распределение СКО облачности по сезонам по территории России таково. Зимой величина СКО достигает на северо-западе ЕЧР максимальных значений (*1,35 балла*), второй очаг максимальных значений формируется в районе п-ова Таймыр (*1,5 балла*), третий — в районе Камчатки (*1,0 балла*). Весной поле СКО более однородное. Максимальные значения СКО отмечаются на побережье Северного Ледовитого океана, где они достигают *1,2 балла*, затем по всей территории России к югу величина межгодовой изменчивости облачности уменьшается до *0,6 балла*. В летний период величина СКО облачности повсеместно убывает: на территории ЕЧР ее максимум порядка *0,6 балла*, а на территории Сибири *0,48 балла*. Осенью значения СКО облачности повсеместно возрастают. На западе ЕЧР величина СКО достигает *0,7 балла*, на севере Западной Сибири — *0,85 балла*, на Чукотке — *0,7 балла*.

Распределение КНЛТ общей облачности по сезонам следующее.

Зимой на территории ЕЧР, Урала и юга Западной Сибири количество облаков растет. Максимум достигается на западе ЕЧР (скорость до *1 балла/10 лет*), в центральной и северной областях Восточной Сибири, наоборот, количество облачности уменьшается со скоростью *1 балл/10 лет* в районе

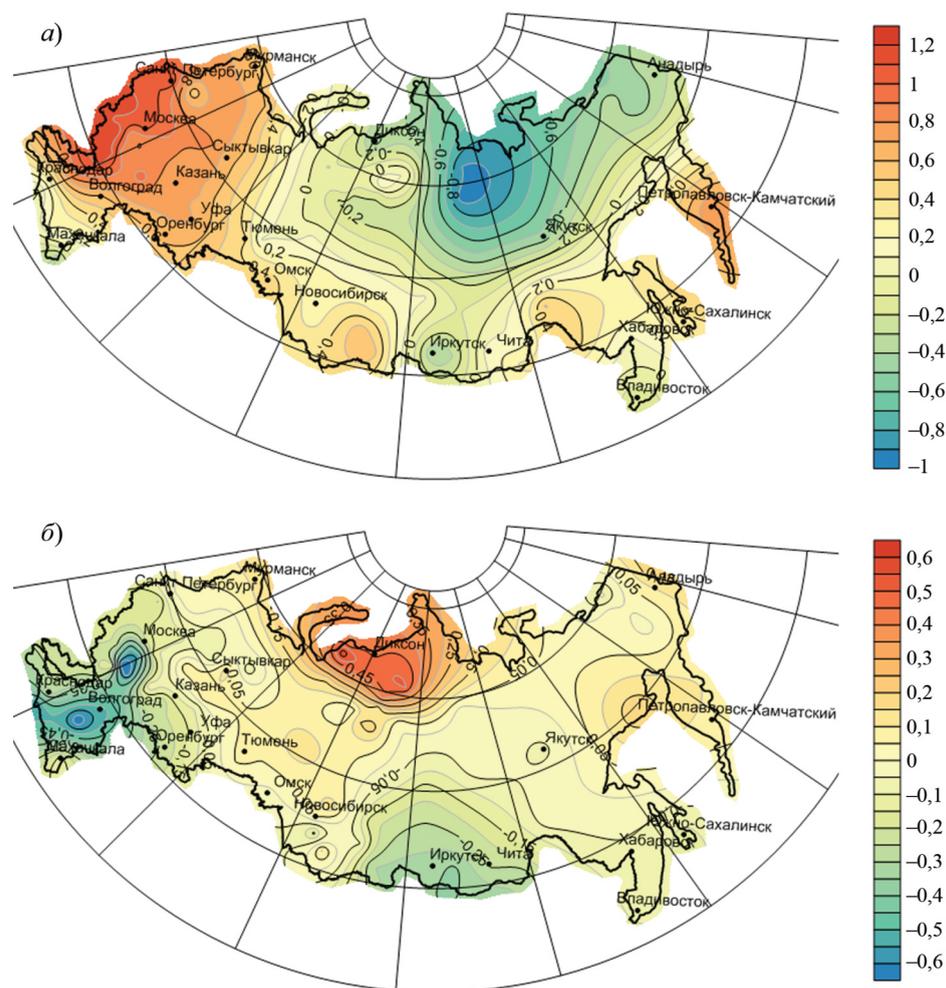


Рис. 4. Значения коэффициента наклона линейного тренда (1979—2023 гг.) общей облачности (баллы/10 лет) зимой (а) и летом (б).

Хатанги. Таким образом, если на территории ЕЧР, Урала, Западной Сибири, Дальнего Востока количество облаков увеличивается, то на обширной территории Восточной Сибири — уменьшается (рис. 4а).

Весной на большей части территории России, за исключением юго-запада ЕЧР, юга Восточной Сибири и Дальнего Востока, их количество растет и достигает максимума на побережье Северного Ледовитого океана, где в районе п-ова Ямал КНЛТ  $\sim 1$  балл/10 лет.

В летний период значения КНЛТ на всей территории России минимальны в годовом ходе. Максимум отмечается на севере Западной Сибири в районе Диксона (КНЛТ = 0,5 балла/10 лет). На юге ЕЧР возникает небольшая по размерам область с уменьшением облачности (КНЛТ = -0,45 балла/10 лет), в южной части Восточной Сибири количество облаков также уменьшается (в районе Иркутска КНЛТ = -0,25 балла/10 лет) (рис. 4б).

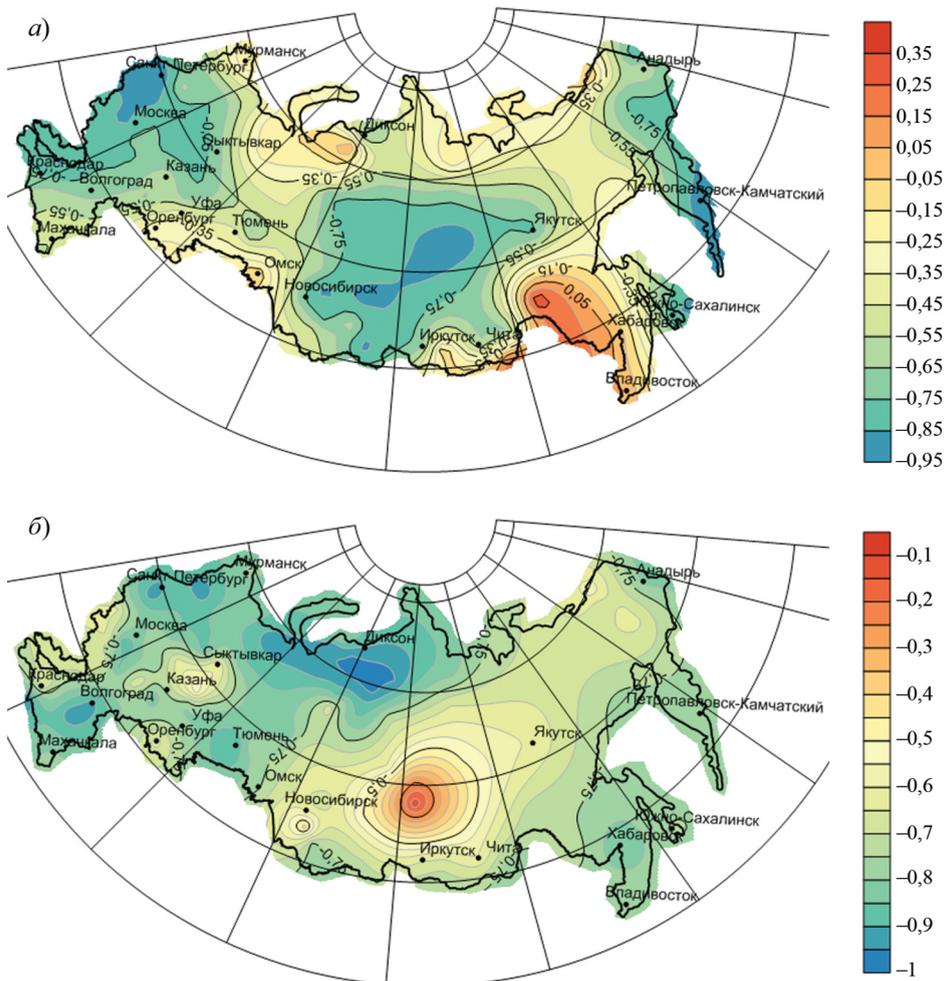


Рис. 5. Коэффициенты корреляции между суммарной радиацией и облачностью зимой (а) и летом (б).

В осенний период картина заметно меняется, скорость изменения количества облаков больше. На большей части территории России их количество увеличивается, лишь в южных районах ЕЧР, Восточной Сибири и Дальнего Востока наблюдается незначительная убыль количества облаков (КНЛТ =  $-0,2$  балла/10 лет). На севере ЕЧР отмечается максимум роста КНЛТ до  $0,6$  балла/10 лет.

Дана оценка статистической связи между общей облачностью и суммарной радиацией. Для этого рассчитывались коэффициенты парной корреляции  $r$  между этими показателями.

В зимний период на всей территории России преобладают отрицательные значения  $r$  с максимальными значениями на западе и северо-западе ЕЧР (до  $-0,65$ ), на юге Средней Сибири  $r = -0,85$ , на всем тихоокеанском побережье Дальнего Востока  $r = -0,85$ , и лишь в Забайкалье отмечаются слабые положительные связи ( $r = 0,15$ ) (рис. 5а). Таким образом, облач-

ность в зимний период способствует ослаблению приходящей суммарной радиации.

Весной на всей территории России также  $r < 0$ . Исключением является область в районе п-ова Ямал, где  $r \sim 0,3$ . Наиболее сильные отрицательные связи отмечаются на территории ЕЧР, юге Западной Сибири и в районе Камчатки, где  $r = -0,8$ .

В летний период на ЕЧР  $r < 0$ . Максимум ( $r = -0,9$ ) отмечается на севере ЕЧР и Западной Сибири, на побережье Северного Ледовитого и Тихого океанов ( $r = -0,8$ ) (рис. 5б).

Осенью повсеместно  $r < 0$ , на северо-западе ЕЧР  $r = -0,84$ , на востоке ЕЧР  $r = -0,79$ , на всей территории Сибири и Дальнего Востока коэффициент корреляции принимает значения от  $-0,64$  до  $-0,79$ .

Таким образом, во все сезоны года между полями облачности и суммарной радиации на всей территории России устанавливается тесная отрицательная корреляция, что свидетельствует об ослаблении потоков приходящей от Солнца суммарной радиации из-за экранирующего влияния облаков.

Этот факт проявляется и в значениях рассчитанных коэффициентов корреляции между температурой и облачностью. Так, коэффициенты корреляции между ТВ и облачностью зимой достигают максимальных значений на территории ЕЧР и Западной Сибири (до 0,4), при этом на юго-востоке ЕЧР и юге Западной Сибири значения  $r$  достигают 0,5—0,6. Слабее всего выражены связи в Восточной Сибири и в Приморье ( $r = 0,15$ ). Летом ситуация значительно отличается от ситуации зимой. На всей ЕЧР связь между рассматриваемыми полями имеет отрицательный характер (на юге ЕЧР  $r = -0,55$ ). В северных районах Сибири связь практически отсутствует ( $r = 0,1$ ), на юге Восточной Сибири  $r = -0,55$ .

Вклад изменений облачности в дисперсию ТВ в зимний период достигает максимума на юго-востоке ЕЧР (24%) и юге Западной Сибири (32%). Летом на большей части Европейской России и в южной части Восточной Сибири вклад изменения облачности достигает 30%, на остальной территории России он значительно меньше.

#### 4. Заключение

В результате комплексного анализа пространственно-временной изменчивости метеорологических полей на территории России в период 1976—2023 гг. можно сделать следующие выводы.

В рассматриваемый период практически на всей территории России в течение года происходит потепление климата, за исключением южных районов Западной и Средней Сибири в зимний период. Значения КНЛТ температуры воздуха свидетельствуют о неоднородном характере потепления в регионах России в разные сезоны года: наибольшая скорость потепления во все сезоны отмечается на арктическом побережье (зимой до  $1,3^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$ ), наименьшая — на юге Западной Сибири летом ( $0,1—0,3^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$ ).

Влияние циркуляционных мод на термический режим России неоднородно как по знаку, так и по интенсивности. В зимний период осцилляции АО, NAO способствуют потеплению климата на территории ЕЧР и Запад-

ной Сибири, SCAND — охлаждению, EA/WR понижает температуру в летний период.

В зимний период на континентальной территории России отмечается повышение атмосферного давления со скоростью, достигающей  $1,0 \text{ гПа}/10 \text{ лет}$  (п-ов Ямал), за исключением Камчатки, где давление падает. Летом отмечается повышение приземного давления в центре ЕЧР (КНЛТ =  $0,6 \text{ гПа}/10 \text{ лет}$ ) и формирование обширной области понижения давления на арктическом побережье Евразии и на большей части территории Сибири. В целом ситуация достаточно неустойчива.

Сезонные связи между температурой воздуха и атмосферным давлением имеют неустойчивый характер на территории России. Зимой на обширной территории Сибири в условиях азиатского максимума давления между этими показателями устанавливается тесная отрицательная связь ( $r = -0,7$ ). Летом в центре ЕЧР, наоборот, корреляция между температурой и давлением положительная ( $r = 0,6$ ).

Пространственно-временные изменения приходящей солнечной радиации зависят от состояния общей облачности. В местах увеличения количества облачности (КНЛТ > 0) потоки суммарной радиации ослабевают, и наоборот, потоки усиливаются там, где величина КНЛТ облаков отрицательна, что особенно четко проявляется как в зимний, так и в летний сезоны на территории ЕЧР и способствует дополнительному потеплению климата.

Выявлено возрастание количества облаков зимой на территории России со скоростью до  $1 \text{ балл}/10 \text{ лет}$ , за исключением центральной и северной частей Восточной Сибири. Летом изменения количества облаков минимальны, их наибольшая убыль отмечается на юге ЕЧР и в Восточной Сибири. Отмечаются высокие значения отрицательной корреляции между общей облачностью и суммарной радиацией, достигающей в летний период значения  $r = -0,9$  на севере ЕЧР и Западной Сибири, на арктическом побережье.

В январе корреляция между температурой воздуха и количеством общей облачности на всей территории России положительная (максимум  $r = 0,5—0,6$  достигается на юго-востоке ЕЧР и юге Западной Сибири). В июле знак корреляции становится отрицательным (на юге ЕЧР и Восточной Сибири  $r = -0,55$ ).

В заключение отметим, что полученные в статье оценки трендов изменения ряда климатических показателей на территории России в 1976—2023 гг. свидетельствуют о согласованном характере изменения метеорологических полей в условиях современного потепления климата, соответствуют физическим представлениям о природе этих изменений и подтверждаются результатами ранее выполненных исследований.

## Литература

1. **Бабанов Б. А., Семенов В. А., Акперов М. Г., Мохов И. И., Keenlyside N. S.** Повторяемость зимних режимов атмосферной циркуляции в Евро-Атлантическом регионе и связанные с ними экстремальные погодно-климатические аномалии в Северном полушарии. — *Оптика атмосферы и океана*, 2023, т. 36, № 4, с. 304—312.
2. **Бардин М. Ю., Платова Т. В.** Долгопериодные вариации показателей экстремальности температурного режима на территории России и их связь с изменениями крупномасштабной атмосферной циркуляции и глобальным потеплением. — *Метеорология и гидрология*, 2019, № 12, с. 5—19.
3. **Бардин М. Ю., Платова Т. В., Самохина О. Ф.** Изменчивость антициклонической активности в умеренных широтах Северного полушария. — *Фундаментальная и прикладная климатология*, 2019, № 3, с. 32—58.
4. **Бардин М. Ю., Ранькова Э. Я., Платова Т. В., Самохина О. Ф., Корнева И. А.** Современные изменения приземного климата по результатам регулярного мониторинга. — *Метеорология и гидрология*, 2020, № 5, с. 29—45.
5. **Бюллетень мониторинга изменений климата земного шара. Приземная температура — 2022. Годовой обзор.** — М., ИГКЭ, 2023, 34 с.
6. **Второй** оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. — М., Росгидромет, 2014, 2008 с.
7. **Груза Г. В., Ранькова Э. Я.** Динамические климатические нормы температуры воздуха. — *Метеорология и гидрология*, 2012, № 9, с. 5—18.
8. **Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год.** — М., 2023, 104 с.
9. **Золотокрылин А. Н., Кренке А. Н., Виноградова В. В.** Районирование России по природным условиям жизни населения. — М., Геос, 2012, 156 с.
10. **Климат Москвы.** /Под ред. А. А. Дмитриева, Н. П. Бессонова. — Л., Гидрометеиздат, 1969, 323 с.
11. **Климат России.** /Под ред. Н. В. Кобышевой. — СПб, Гидрометеиздат, 2001, 656 с.
12. **Климат Санкт-Петербурга и его изменения.** /Под ред. В. П. Мелешко, А. В. Мещерской, Е. И. Хлебниковой. — СПб, ГГО им. А. И. Воейкова, 2010, 256 с.
13. **Куликова И. А., Вильфанд Р. М., Хан В. М., Круглова Е. Н., Тищенко В. А., Емелина С. В., Каверина Е. С., Набокова Е. В., Субботин А. В., Сумерова К. А., Толстых М. А.** Климатические прогнозы. Часть I. Современное состояние и перспективы развития. — *Метеорология и гидрология*, 2024, № 7, с. 5—24.
14. **Матвеев Ю. Л.** Динамико-статистическое исследование поля облаков глобального и синоптического масштабов: Диссертация в виде научного доклада на соискание уч. степени доктора физ.-мат. наук. — СПб, 1996, 62 с.
15. **Мелешко В. П., Катцов В. М., Мирвис В. М., Байдин А. В., Павлова Т. В., Говоркова В. А.** Существует ли связь между сокращением морского льда в Арктике и ростом повторяемости аномально холодных зим в Евразии и Северной Америке? Синтез современных исследований. — *Метеорология и гидрология*, 2018, № 11, с. 49—67.
16. **Монин А. С.** Прогноз погоды как задача физики. — М., Наука, 1969, 184 с.
17. **Монин А. С., Сонечкин Д. М.** Колебания климата по данным наблюдений: тройной солнечный и другие циклы. — М., Наука, 2005, 191 с.
18. **Мохов И. И.** Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования. — *Вестник РАН*, 2022, т. 92, № 1, с. 3—14.
19. **Мохов И. И., Смирнов Д. А.** Эмпирические оценки вклада парниковых газов и естественной климатической изменчивости в тренды приповерхностной температуры для различных широт. — *Доклады АН, Науки о Земле*, 2022, т. 503, № 1, с. 53—59.
20. **Мохов И. И., Хон В. Ч.** Межгодовая изменчивость и долгопериодные тенденции изменений центров действия атмосферы в Северном полушарии. Анализ данных наблюдений. — *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, 2005, т. 41, № 6, с. 723—732.
21. **Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Том I. Изменения климата.** — М., Росгидромет, 2008, 227 с.
22. **Переведенцев Ю. П., Васильев А. А., Шерстюков Б. Г., Шанталинский К. М.** Климатические изменения на территории России в конце XX — начале XXI века. — *Метеорология и гидрология*, 2021, № 10, с. 14—26.

- 23. Переведенцев Ю. П., Мирсаева Н. А., Шанталинский К. М.** К 100-летию кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского федерального университета. — Метеорология и гидрология, 2023, № 9, с. 128—131.
- 24. Переведенцев Ю. П., Шерстюков Б. Г., Мирсаева Н. А., Шанталинский К. М., Гурьянов В. В.** Тенденции изменения основных климатических показателей на территории Приволжского федерального округа в XIX—XXI веках. — Фундаментальная и прикладная климатология, 2022, т. 8, № 2, с. 209—237.
- 25. Покровский О. М., Махоткина Е. Л., Покровский О. И., Рябова Л. М.** Тенденции межгодовых колебаний составляющих радиационного баланса и альbedo поверхности суши на территории России. — Метеорология и гидрология, 2004, № 5, с. 37—46.
- 26. Попова В. В.** Современные изменения климата на севере Евразии как проявление вариаций крупномасштабной атмосферной циркуляции. — Фундаментальная и прикладная климатология, 2018, № 1, с. 84—111.
- 27. Третий** оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. — СПб, Научно-технологические исследования, 2022, 124 с.
- 28. Хан В. М., Вильфанд Р. М., Тищенко В. А., Каверина Е. С., Сумерова К. А., Куликова И. А., Круглова Е. Н.** О результатах восемнадцатой сессии Северо-Евразийского климатического форума (САЕКОФ-18). — Гидрометеорологические исследования и прогнозы, 2020, № 2 (376), с. 141—152.
- 29. Шерстюков Б. Г.** Изменения, изменчивость и колебания климата. — Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 2011, 293 с.
- 30. IPCC, 2022.** Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. /H.-O. Portner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Loschke, V. Moller, A. Okem, and B. Rama (eds.). — Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 2022, 3056 p.
- 31. NASA POWER Data;** <https://power.larc.nasa.gov/> (дата обращения 04.10.2024).
- 32. Perevedentsev Y. P. and Shantalinskii K. M.** Changes in the near-surface surface air temperature the Northern Hemisphere during the period of 1850–2014. — Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Ser. Estestvennye Nauki, 2015, vol. 157, No. 3, pp. 8—19.
- 33. Perevedentsev Yu. P., Shantalinskii K. M., Aukhadeev T. R., Ismagilov N. V., and Zandi R.** Effect of macrocirculation systems on the thermobaric conditions of the Volga Federal District. — Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Ser. Estestvennye Nauki, 2014, vol. 156, No. 2, pp. 156—169.
- 34. Perevedentsev Yu. P., Vereshagin M. A., Naumov E. P., Shantalinskiy K. M., and Nikolaev A. A.** Regional display of the modern climate warming in tropo- and stratospheres of the Northern Hemisphere. — Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr., 2005, No. 6, pp. 6—16.

Поступила в редакцию 18 X 2024 г., после доработки 28 I 2025 г., принята к публикации 25 III 2025 г.

## TRENDS IN MAIN CLIMATIC INDICATORS ON THE TERRITORY OF RUSSIA DURING 1976–2023

Yu. P. Perevedentsev, A. A. Vasil'ev, V. V. Gur'yanov,  
N. A. Mirsaeva, and A. A. Nikolaev

*The spatial and temporal variations in the main characteristics of the surface fields of air temperature, atmospheric pressure, total solar radiation, and total cloud amount are considered, taking into account the influence of atmospheric circulation on the territory of Russia during 1976–2023. To assess the trends in the climatic indicators, the values of the linear trend slope coefficients and correlation coefficients were calculated to identify interrelations between meteorological fields, which made it possible to reveal regional differences in their dynamics under conditions of modern climate warming.*