

## Вариативное влияние погодно-климатических факторов на ожидаемую продолжительность жизни и повозрастную смертность по причине болезней системы кровообращения населения регионов Российской Федерации

Г. Г. Онищенко\*, Н. В. Зайцева\*\*, С. В. Клейн\*\*,  
М. В. Глухих\*\*, Д. А. Кирьянов\*\*, М. Р. Камалтдинов\*\*

*Изменения климата формируют диспропорциональные эффекты для различных территорий и групп населения, приводя к дезадаптации физиологических реакций и увеличению распространенности ряда метеозависимых заболеваний. Целью исследования является установление эффектов влияния изменений погодно-климатических факторов за период 2010—2019 гг. на повозрастные показатели смертности от болезней системы кровообращения и показатели ожидаемой продолжительности жизни (ОПЖ) населения, а также модельное прогнозирование факторных эффектов на фоне дифференциации санитарно-эпидемиологического и социально-экономического состояния регионов РФ. Исходными материалами являлись данные официальной статистики по регионам РФ за 2010—2019 гг. по 206 показателям среды обитания и образа жизни, в том числе по восьми погодно-климатическим факторам (среднемесячные значения температуры воздуха, количество осадков за январь и июль, отклонения от среднемноголетних норм по данным показателям). Причинно-следственные связи между факторами среды обитания и повозрастными коэффициентами смертности исследовались с использованием 18 искусственных нейронных сетей ( $R^2 < 0,75$ ). Установлены дифференцированные эффекты влияния на ОПЖ исследуемых факторов, наибольшее влияние — для населения старших возрастных групп. Полученные в рамках исследований результаты необходимо учитывать при разработке региональных и федеральных программ по улучшению медико-демографической ситуации и обеспечению санитарно-эпидемиологического, социального и экономического благополучия.*

**Ключевые слова:** изменения климата, типы климата, климатические зоны, болезни системы кровообращения, смертность, ожидаемая продолжительность жизни, искусственные нейронные сети.

**DOI:** 10.52002/0130-2906-2024-2-94-106

\* Российская академия образования.

\*\*Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; e-mail: kleyn@fcrisk.ru (Клейн Светлана Владиславовна).

## Введение

Пандемия COVID-19 показала, насколько значительным может быть влияние одного фактора, в данном случае биологической природы (вирус SARS-CoV-2), на здоровье людей в глобальном плане [31]. Еще более показательным выглядит то, как меры по противодействию распространения пандемии выявили глубокую взаимосвязь между регионами и странами, которая способствовала увеличению уязвимости одних территорий перед другими [23]. Аналогичная ситуация прослеживается в отношении прогнозируемых климатических рисков, в связи с чем были разработаны документы международного уровня, такие как Киотский протокол, Парижское соглашение, регламентирующие мероприятия, конечной целью которых является повышение адаптации к климатическим изменениям [5, 7]. Вместе с тем направления вероятных угроз, исходящих от глобального изменения климата, многогранны: увеличение частоты экстремальных метеорологических явлений, риски продовольственной безопасности, снижение санитарно-эпидемиологического благополучия, расширение ареала обитания переносчиков трансмиссивных инфекций, климатическая миграция и в конечном итоге связанные с этим прямые и косвенные риски здоровью [3, 16, 25, 26, 30]. При этом суммарная реализация прогнозируемых рисков неоднородна и связана прежде всего с изначально различными возможностями к адаптации и митигации как на уровне сообществ с разным уровнем экономико-технологического развития, так и среди людей с разным социально-экономическим статусом [29]. Прогнозируется, что наиболее уязвимыми могут быть группы людей старшего возраста с уже имеющимися неинфекционными хроническими заболеваниями (сердечно-сосудистой системы, органов дыхания, иммунной системы и пр.), проживающие на территориях с неблагоприятным санитарно-эпидемиологическим состоянием. По данным исследования [27], в 2019 г. загрязнение воздуха стало причиной 11,8% смертей и 8,3% показателя DALY, характеризующего суммарную потерю лет жизни из-за преждевременной смерти или болезни, а высокие температуры стали причиной 0,54% смертей и 0,46% показателя DALY во всем мире. Если не учитывать процессы адаптации, ожидается, что глобальная избыточная смертность, связанная с изменением климата и жарой, почти утроится в период с 2030 по 2050 г. [14]. По оценкам Росгидромета, на территории России потепление происходит со скоростью, более чем в два с половиной раза превышающей скорость глобального потепления [1]. По данным аналитических материалов Всемирной научной программы по адаптации к изменениям климата (WASP), на текущий момент отсутствует сравнение вероятного ущерба внутреннего и трансграничного рисков от изменения климата, представлено мало исследований распределения таких рисков между сферами жизнедеятельности общества (секторами) или между различными группами людей в одной и той же стране, но по некоторым оценкам трансграничные климатические риски могут создавать на порядок больший уровень угрозы, чем внутренние [29]. Отмечается, что территории РФ по-прежнему сохраняют межрегиональную дисперсию по показателю ожидаемой продолжительности жизни (ОПЖ), хоть и с тенденцией к конвергенции коэффициентов смертности населения [11]. Исследования чаще всего затрагивают влияние ограниченного количества факторов на здоровье населения и не учитывают фоновое

влияние факторов другого происхождения [4]. Аналогичная ситуация может наблюдаться и на уровне субъектов РФ, в связи с чем получение оценок не только прямого воздействия погодно-климатических параметров, но также оценок, учитывающих вариативность данного воздействия, связанную с дифференциацией территорий по социально-экономическим и санитарно-эпидемиологическим условиям, является актуальной и своевременной задачей.

Целью исследования является установление эффектов влияния изменений погодно-климатических факторов за период 2010—2019 гг. на повозрастные показатели смертности от болезней системы кровообращения (далее — БСК) и показатели ожидаемой продолжительности жизни населения, а также модельное прогнозирование факторных эффектов на фоне дифференциации санитарно-эпидемиологического и социально-экономического состояния регионов РФ.

### Материалы и методы исследования

Исследование основано на методических подходах, подробно изложенных в работах [2, 32] и представленных в методических рекомендациях 2.1.10.0269–21 [6]. Используемый в исследовании набор детерминант включал в себя 206 показателей, характеризующих разнородные факторы среды обитания и образа жизни и агрегированных по годам за период 2010—2019 гг. по всем субъектам РФ. В качестве источников использовались статистические формы и сборники Роспотребнадзора, Минздрава РФ, Росстата и других ведомств. Исследуемые факторы условно подразделялись на несколько групп показателей: показатели системы здравоохранения (9), показатели санитарно-эпидемиологического благополучия территории (63), показатели экономической сферы (14), показатели образа жизни (30), показатели социально-демографической сферы (34), показатели первичной заболеваемости по классам заболеваний в разрезе трех возрастных групп (48). Для целей и задач настоящего исследования интерес представляла группа погодно-климатических показателей (8): среднемесячная температура воздуха  $T$  (январь, июль), среднемесячное количество осадков  $P$  (январь, июль) и отклонения от среднесноголетних норм данных показателей ( $T$ ,  $P$ ) за аналогичные месяцы.

Оценки изменения показателя ожидаемой продолжительности жизни получены каскадным способом, базирующимся на:

- построении моделей причинно-следственных связей между всеми перечисленными показателями среды обитания и образа жизни (206 показателей) и повозрастными показателями смертности от болезней системы кровообращения в разрезе 5-летних возрастных интервалов (0—4 года, ..., 85 лет и более, всего 18) по регионам РФ;

- расчете изменения показателей смертности населения от болезней системы кровообращения в результате воздействия указанных погодно-климатических детерминирующих факторов за определенный ретроспективный временной период или при их модельном изменении;

- расчете изменения комплексного показателя здоровья — ожидаемой продолжительности жизни при рождении как производного показателя от рассчитанной по возрастной смертности населения от болезней системы кровообращения в результате модифицирующего влияния исследуемых погодно-климатических факторов.

Моделирование указанных причинно-следственных связей базировалось на построении системы искусственных нейросетевых моделей с реализацией всех обязательных процедур. С целью обучения системы искусственных нейронных сетей, которая представляла собой четырехслойный персептрон с двумя внутренними слоями (8 и 3 нейрона), на входной слой подавались значения исследуемых детерминирующих показателей, предварительно обработанных с использованием факторного анализа с целью понижения размерности входной системы данных, выходным слоем служили показатели повозрастной смертности населения от БСК. Обучение моделей проводилось на случайных 75,0% имеющихся данных, остальные 25,0% использовались для проверки качества моделирования. Система моделей состояла из 18 искусственных нейронных сетей (общее количество коэффициентов системы модели — более 7000) с диапазоном значений коэффициентов детерминации от 0,01 (для возрастной группы 10—14 лет) до 0,75 (для возрастной группы 70—74 года). Расчет показателя ОПЖ проводился с использованием кратких таблиц смертности на основе результатов расчета по системе нейросетевых моделей, прогнозирующих изменения коэффициентов смертности от БСК в разрезе пятилетних возрастных интервалов.

Алгоритм прогнозирования коэффициентов смертности от БСК и расчет ассоциированных с влиянием погодно-климатических факторов изменений ОПЖ заключался в последовательном выполнении нескольких этапов: задание базового и целевого сценариев изменения погодно-климатических показателей (остальные показатели сохранялись в неизменном виде); получение модельных значений искомых коэффициентов смертности от БСК по обоим сценариям; расчет разности коэффициентов смертности от БСК между результатами обоих сценариев; расчет ОПЖ по фактическим коэффициентам общей смертности; расчет ОПЖ по коэффициентам общей смертности, скорректированным на уровень влияния исследуемых погодно-климатических факторов (разность коэффициентов смертности от БСК); расчет изменения показателя ОПЖ. Для целей исследования показатели, не относящиеся к группе погодно-климатических, всегда оставались на уровне базового сценария, что позволяло получать эффекты влияния только исследуемой группы факторов, при этом фоновое влияние исходных (базовых) социально-экономических, санитарно-эпидемиологических условий учитывалось в результатах моделирования.

Для установления ретроспективных оценок влияния исследуемой группы показателей на показатель ОПЖ в качестве базового сценария использовались усредненные значения показателей за 2010—2011 гг., в качестве целевого сценария — 2018—2019 гг.; усреднение осуществлялось с целью нивелирования годовых погодно-климатических особенностей.

Вторая задача по установлению закономерностей изменения показателя ОПЖ, ассоциированного с изолированным влиянием отдельных погодно-климатических факторов на повозрастные показатели смертности от БСК, решалась с использованием аналогичного алгоритма. В данном случае в качестве базового сценария принимались значения показателей 2019 г., целевыми значениями являлись их изменения на условное количество единиц измерения показателя (повышение или снижение на 1°C для темпера-

туры воздуха, изменение на 10 мм для количества осадков; отклонения температуры и осадков — на 0,5°C, 10% соответственно). В рамках решения обеих задач расчеты выполнены для 85 субъектов РФ. Итоговые оценки получены для климатических зон, данные о которых приведены в статистическом сборнике Росстата [9], с учетом численности населения по средневзвешенным значениям.

Создание матрицы данных, их статистическая обработка, моделирование и визуализация произведены с использованием стандартных пакетов программ для статистического анализа (Statistica 10, RStudio, MS Excel 2010).

### Результаты

По результатам ретроспективного анализа погодно-климатических показателей за период 2010—2019 гг. по осредненным значениям 2010—2011 и 2018—2019 гг. установлено, что на территориях большинства субъектов РФ (75, или 89,4%) наблюдается увеличение среднемесячной температуры воздуха в январе (от 0,1 до 6,3°C). Повышение среднемесячных значений температуры июля за указанный период зафиксировано в основном на арктических и субарктических территориях (Чукотский автономный округ (на 1,2°C), Архангельская область (на 1,9°C) и пр.) и на территориях с умеренным континентальным климатом (юг Тюменской области (на 6,3°C), Ханты-Мансийский автономный округ (на 3,4°C) и пр.). За анализируемый период на территориях большинства субъектов России отмечается увеличение количества осадков в январе и июле (на 52,9 и 67,1%). Также наблюдается увеличение отклонений от среднемноголетних значений температуры и норм осадков. Так, на территории 78 субъектов РФ установлено увеличение температурных отклонений в январе (на территории 26 субъектов — в июле), на территории 57 субъектов зафиксировано увеличение отклонений количества осадков в июле (на территории 49 субъектов — в январе).

В результате ретроспективной оценки изменения показателя ОПЖ, ассоциированного с влиянием погодно-климатических факторов на коэффициенты по возрастной смертности от БСК, установлено, что за анализируемый период, несмотря на наблюдаемую вариативность изменения показателя ОПЖ по субъектам РФ, на значительной части территорий установлено его снижение (см. рисунок).

Рост ассоциированной с погодно-климатическими изменениями второго десятилетия XXI в. смертности от БСК и, как следствие, уменьшение ОПЖ ниже среднерегионального уровня ( $M - m$ ) наблюдались в 28 субъектах РФ (от -10,4 до -196,4 дня), расположенных преимущественно на севере европейской части России (ЕЧР), в центре и на юге Западной и Восточной Сибири, частично на юге ЕЧР. Положительное влияние на показатель ОПЖ выше среднерегионального уровня ( $M + m$ ) фактического изменения погодно-климатических условий отмечено в 33 регионах (от 12,3 до 118,5 дня), географически расположенных в центре ЕЧР, северной части Восточной Сибири и Якутии, на Чукотке и севере Камчатки и на Дальнем Востоке (см. рисунок).

Анализ ассоциированных с погодно-климатическими факторами изменений ОПЖ по климатическим зонам (табл. 1) показал, что наибольшие потери ОПЖ от фактического изменения погодно-климатических факто-



Изменения показателя ожидаемой продолжительности жизни (дни) по субъектам РФ за период 2010—2019 гг., ассоциированные с погодно-климатическими показателями.

Диапазон: 1) от  $-196,4$  до  $-9,9$ ; 2) от  $-9,8$  ( $M - m$ ) до  $11,1$  ( $M + m$ ); 3) от  $11,2$  до  $118,5$ .  $M$  — среднее арифметическое значение по регионам России;  $m$  — среднеквадратическая ошибка; соответственно ( $M - m$ ) — нижняя граница диапазона, ( $M + m$ ) — его верхняя граница.

ров (температуры, осадков и их отклонений) за анализируемый период (2010—2019 гг.) зафиксированы для субъектов с умеренным морским климатом ( $-153,5$  дня) и климатом горных областей Северного Кавказа ( $-37,6$  дня). Снижение показателя ОПЖ на территориях с умеренным морским климатом в рамках построенной модели в большей степени ассоциировано с фактическим увеличением количества осадков в январе и его отклонением от среднееголетней нормы на данных территориях. Положительное влияние на показатель ОПЖ оказали климатические изменения в регионах с умеренным муссонным ( $+27,5$  дня; 5 (5,9%) субъектов) и атлантико-континентальным ( $+2,9$  дня; 50 (58,8%) субъектов) климатом.

Анализ изменений повозрастных коэффициентов смертности от БСК, ассоциированных с изменением погодно-климатических показателей по ретроспективным данным, показал, что по моделям с наибольшим коэффициентом детерминации ( $R^2 > 0,5$ ), отражающим изменения в трудоспособном возрасте и старше, наибольшее увеличение коэффициентов смертности по данной причине в целом по России за 2010—2019 гг. приходилось на возраст 60—64 года ( $+6,03$  случая на 100 тыс. населения) и 65—69 лет ( $+9,8$  сл. на 100 тыс. населения). В разрезе климатических зон по данным возрастным группам (60—64 года и 65—69 лет) наибольшие потери установлены для территорий с умеренным морским климатом ( $+104,9$  и  $+121,7$  сл. на 100 тыс. населения соответственно), умеренным континентальным климатом ( $+21,7$  и  $+27,3$  сл. на 100 тыс. населения соответственно), субарктическим (в том числе морским) ( $+21,9$  и  $+21,8$  сл. на 100 тыс. населения соответственно) и арктическим ( $+17,3$  и  $+28,5$  сл. на 100 тыс. населения соответственно) климатом.

Дальнейшее потепление от уровня 2019 г. в зимний период (изолированное увеличение среднемесячной температуры воздуха в январе на  $1^\circ\text{C}$ ) потенциально может снизить показатель ОПЖ на территории всех рассматриваемых климатических зон в диапазоне от  $-0,04$  до  $-2,8$  дня (табл. 2).



Таблица 1

**Изменения показателя ОПЖ, ассоциированные с влиянием  
погодно-климатических факторов на повозрастные коэффициенты  
смертности**

| Климатическая зона                                                                                                                                                                                                   | Изменение ОПЖ*<br>за 2010—2019 гг.,<br>дни | Количество (доля, %) регионов<br>в климатической зоне |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Умеренный муссонный климат                                                                                                                                                                                           | 27,5                                       | 5 (5,9)                                               |
| Умеренный атлантико-континентальный                                                                                                                                                                                  | 2,9                                        | 50 (58,8)                                             |
| Горные области Алтая и Саян                                                                                                                                                                                          | –0,4                                       | 5 (5,9)                                               |
| Арктический                                                                                                                                                                                                          | –15,3                                      | 3 (3,5)                                               |
| Умеренный континентальный                                                                                                                                                                                            | –25,7                                      | 12 (14,1)                                             |
| Субарктический континентальный                                                                                                                                                                                       | –27,0                                      | 3 (3,5)                                               |
| Горные области Северного Кавказа                                                                                                                                                                                     | –37,6                                      | 5 (5,9)                                               |
| Умеренный морской                                                                                                                                                                                                    | –153,5                                     | 2 (2,4)                                               |
| <i>Примечание.</i> *Здесь и далее приведены результаты расчета изменений показателя ОПЖ по климатическим зонам с учетом численности населения в регионах (средневзвешенные по численности изменения показателя ОПЖ). |                                            |                                                       |

Вместе с тем аналогичное повышение температуры в июле обусловит снижение ОПЖ только на территориях с арктическим (–3,0 дня), умеренным морским (–3,4 дня) климатом, климатом горных областей Алтая и Саян (–0,9 дня). Для большинства субъектов РФ, для которых характерен умеренный атлантико-континентальный климат, повышение температуры на 1°C в летний период может обусловить увеличение ОПЖ на 2,7 дня, максимальное увеличение ОПЖ (5,9 дня) ожидается для территорий с климатом горных областей Северного Кавказа.

Увеличение количества осадков на 10 мм в январе может быть ассоциировано со снижением показателя ОПЖ на территориях всех рассматриваемых климатических зон России в диапазоне от 5,8 дня (горные области Алтая и Саян) до 25,0 дней (горные области Северного Кавказа). В большинстве субъектов РФ (умеренный атлантико-континентальный климат) подобное увеличение количества осадков в январе снизит ОПЖ на 11,1 дня. Сценарное увеличение количества осадков в июле также ассоциировано со снижением ОПЖ в большинстве климатических зон в диапазоне от 0,3 дня (арктический климат) до 8,7 дня (климат горных областей Северного Кавказа). При этом климатическими зонами, территории которых показали в целом ассоциированное с увеличением количества осадков повышение ОПЖ в данном сценарии, являлись горные области Алтая и Саян (1,0 дня) и территории с умеренным морским климатом (5,7 дня).

Сценарное увеличение отклонения температуры атмосферного воздуха от среднееголетних норм на 0,5 С в январе вне зависимости от того, было ли базовое значение выше или ниже нормы, показало, что в большинстве климатических зон в случае нарастания наблюдаемых температурных отклонений стоит ожидать снижения ОПЖ в диапазоне от 1,4 дня (климат горных областей Алтая и Саян) до 11,2 дня (климат горных областей Северного Кавказа). Согласно модельным данным аналогичное изменение

Таблица 2

**Расчетные значения изменений показателя ОПЖ (дни),  
ассоциированные со сценарным влиянием погодно-климатических  
факторов на повозрастные коэффициенты смертности  
от БСК по основным климатическим зонам РФ**

| Месяц                                                                                                                                                                            | Горные области  |                      | Пояс  |                     |                           |                    |                      |                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------|-------|---------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
|                                                                                                                                                                                  | Алтая и<br>Саян | Северного<br>Кавказа | Аркт. | Субаркт.<br>и конт. | Умерен. и<br>атлан.-конт. | Умерен. и<br>конт. | Умерен. и<br>морской | Умерен. и<br>муссон. |
| Снижение $T$ на 1 °C                                                                                                                                                             |                 |                      |       |                     |                           |                    |                      |                      |
| I                                                                                                                                                                                | 0,9             | 1,9                  | 2,8   | 1,6                 | 0,05                      | 0,5                | 2,6                  | 0,1                  |
| VII                                                                                                                                                                              | 0,9             | -5,9                 | 3,1   | -2,8                | -2,6                      | -0,1               | 3,5                  | -2,1                 |
| Повышение $T$ на 1 °C                                                                                                                                                            |                 |                      |       |                     |                           |                    |                      |                      |
| I                                                                                                                                                                                | -0,9            | -1,9                 | -2,8  | -1,6                | -0,05                     | -0,5               | -2,6                 | -0,04                |
| VII                                                                                                                                                                              | -0,9            | 5,9                  | -3,03 | 2,9                 | 2,7                       | 0,2                | -3,4                 | 2,2                  |
| Уменьшение $P$ на 10 мм                                                                                                                                                          |                 |                      |       |                     |                           |                    |                      |                      |
| I                                                                                                                                                                                | 5,8             | 25,6                 | 8,9   | 10,8                | 11,1                      | 8,3                | 11,6                 | 8,6                  |
| VII                                                                                                                                                                              | -0,9            | 8,9                  | 0,5   | 3,9                 | 2,2                       | 1,9                | -5,5                 | 1,04                 |
| Увеличение $P$ на 10 мм                                                                                                                                                          |                 |                      |       |                     |                           |                    |                      |                      |
| I                                                                                                                                                                                | -5,8            | -25,0                | -8,8  | -10,8               | -11,1                     | -8,3               | -11,6                | -8,6                 |
| VII                                                                                                                                                                              | 1,04            | -8,7                 | -0,3  | -3,8                | -2,1                      | -1,8               | 5,7                  | -0,9                 |
| Увеличение $T$ на 0,5 °C (по модулю)                                                                                                                                             |                 |                      |       |                     |                           |                    |                      |                      |
| I                                                                                                                                                                                | -1,4            | -11,2                | 2,9   | -2,97               | -1,3                      | -0,4               | 1,2                  | -1,9                 |
| VII                                                                                                                                                                              | -2,1            | -2,1                 | -13,8 | -7,8                | -8,9                      | -0,4               | -18,3                | -7,6                 |
| Уменьшение $T$ на 0,5 °C (по модулю) или до 0                                                                                                                                    |                 |                      |       |                     |                           |                    |                      |                      |
| I                                                                                                                                                                                | 0,8             | 11,2                 | -2,8  | 2,9                 | 1,3                       | -0,0009            | -1,3                 | 1,9                  |
| VII                                                                                                                                                                              | 1,2             | 3,4                  | 14,1  | 7,1                 | 8,98                      | 0,3                | 18,6                 | 7,8                  |
| Увеличение $P$ на 10%                                                                                                                                                            |                 |                      |       |                     |                           |                    |                      |                      |
| I                                                                                                                                                                                | 1,8             | -4,2                 | 1,6   | -0,7                | -2,3                      | 1,2                | -2,4                 | -0,3                 |
| VII                                                                                                                                                                              | 2,6             | 6,01                 | -1,4  | -0,8                | 0,3                       | 0,8                | 6,8                  | -0,2                 |
| Уменьшение $P$ на 10% или до значения нормы                                                                                                                                      |                 |                      |       |                     |                           |                    |                      |                      |
| I                                                                                                                                                                                | -1,2            | 4,03                 | -1,5  | 0,7                 | 2,2                       | -0,9               | 2,5                  | 0,5                  |
| VII                                                                                                                                                                              | -2,8            | -6,1                 | 1,9   | 0,8                 | -0,1                      | 0,1                | -6,5                 | 0,5                  |
| <i>Примечание.</i> Аркт. — арктический; Субаркт. — субарктический; Конт. — континентальный; Умерен. — умеренный; атлант.-конт. — атлантико-континентальный; муссон. — муссонный. |                 |                      |       |                     |                           |                    |                      |                      |

отклонений температуры, но уже в июле, вероятно, также приведет к уменьшению ОПЖ на территории всех рассматриваемых климатических зон, при этом наиболее критичным эффект будет для регионов с арктическим климатом — 13,8 дня — и территорий с умеренным морским климатом — 18,3 дня. Соответствующее снижение температурных отклонений приводит к увеличению ОПЖ на тех же территориях (табл. 2).

Результаты моделирования вероятного влияния показателя, характеризующего степень отклонения (%) количества осадков от среднееголетней нормы, на повозрастные коэффициенты смертности показали вариации



тивность эффектов. Так, например, на территориях субарктического континентального климата стабилизация процесса выпадения осадков — приближение уровня к среднесуточной норме в январе и июле, — вероятно, увеличит ОПЖ на 0,7 и 0,8 дня соответственно, схожая тенденция прогнозируется и для регионов с умеренным муссонным климатом — увеличение ОПЖ на 0,5 дня. При этом увеличение отклонения (на 10%) на территориях с климатом горных областей Алтая и Саян от наблюдаемых среднесуточных норм ассоциировано со снижением коэффициентов по возрастной смертности от БСК и увеличением показателя ОПЖ (+1,8 дня для январских отклонений, +2,6 дня — для июльских).

### Обсуждение

Результаты ретроспективного анализа изменения рассматриваемых погодноклиматических показателей января и июля (температуры воздуха, количества осадков и их отклонений), показавшие их увеличение на большей части территорий России, соотносятся с общемировыми тенденциями изменения климата [17, 18].

Полученные результаты моделирования влияния погодноклиматических показателей на коэффициенты по возрастной смертности в целом подтверждают вариативность влияния неуправляемого погодноклиматического фактора на популяционное здоровье с учетом наблюдающихся и прогнозируемых погодноклиматических изменений на фоне дополнительного модифицирующего влияния регионально дифференцированных социальноэкономических и санитарно-эпидемиологических условий. По большинству исследованных параметров, согласно прогнозируемым трендам их изменения, следует ожидать вероятных разнонаправленных последствий для общественного здоровья в РФ. Так, модельное увеличение температуры атмосферного воздуха в январе во всех климатических зонах и в июле в субъектах арктического климата, умеренного морского климата и климата горных областей Алтая и Саян показало увеличение коэффициентов по возрастной смертности по причине БСК с соответствующим снижением ОПЖ. Вместе с тем на большинстве территорий РФ, для которых характерен умеренный атлантико-континентальный климат, повышение температуры июля связано с увеличением ОПЖ.

Данные ряда исследований показывают, что низкие значения температуры воздуха вызывают такие физиологические изменения, как повышение в крови уровня сахара, холестерина, концентрации фибриногена, повышенную агрегацию тромбоцитов, периферическую вазоконстрикцию, кроме того, они могут являться триггером респираторных инфекций, ухудшающих течение БСК [20]. Высокая температура воздуха увеличивает вязкость крови с увеличением относительного содержания эритроцитов и тромбоцитов, а также ассоциирована с таким явлением, как волны тепла, повышающие риск смерти от БСК [8, 20]. Вариативность полученных результатов может указывать на проявление системных эффектов модели, учитывающей помимо сценарного изменения погодноклиматических показателей влияние исходного социально-экономического и санитарно-эпидемиологического фона территорий. В результате изменение погодноклиматических условий без соответствующих откликов со стороны иных

(не погодно-климатических) факторов системы, а также недостаточность адаптационных возможностей организма могли обусловить более выраженные потери общественного здоровья на отдельных территориях РФ. Таким образом, некоторая вариативность полученных результатов по ряду показателей в отдельных климатических зонах могла быть обусловлена разными социально-экономическими и санитарно-эпидемиологическими условиями. Кроме того, согласно климатофизиологии организм человека испытывает одновременное влияние комплекса метеорологических факторов (температуры воздуха, скорости движения воздуха, влажности (осадков), атмосферного давления и пр.), соответственно, оценка изолированного изменения только одного параметра при неизменных других могла привести к недооценке прогнозируемых ассоциированных с климатом эффектов на показатели по возрастной смертности от БСК [10].

В литературе имеется ограниченное количество прогностических исследований, посвященных влиянию изменения режима выпадения осадков на здоровье населения [22]. Полученные эффекты влияния изменения количества осадков, в частности их увеличения на 10 мм как в январе, так и в июле, обуславливающие увеличение коэффициентов по возрастной смертности от БСК в большинстве климатических зон, могут быть связаны как с прямым ущербом здоровью, так и с опосредованным воздействием через изменение социально-экономических и санитарно-эпидемиологических условий проживания населения [12, 19, 21, 24, 28].

Результаты исследования согласуются с данными других релевантных исследований, указывающих, что наиболее уязвимыми лицами (группой риска) при погодно-климатических изменениях, как умеренных, так и экстремальных, являются люди старших возрастных групп [8, 13, 15, 17].

В целом результаты могут указывать на несоответствие скорости нарастания изменений погодно-климатического фактора и скорости приобретения новых адаптационных возможностей как на уровне человеческого организма, так и на популяционном уровне. Данное предположение основывается на результатах, свидетельствующих о прогнозируемом увеличении коэффициентов по возрастной смертности при дальнейшем увеличении отклонений показателей от погодно-климатических среднесезонных норм.

К ограничениям проведенного исследования следует отнести: набор анализируемых данных (количество показателей, период сбора данных, уровень агрегирования данных — годовой, региональный), используемую климатическую классификацию регионов РФ, осреднение погодно-климатических показателей для субъектов, расположенных в нескольких климатических зонах. Увеличение временного масштаба данных для обучения модели и (или) включение дополнительных погодно-климатических показателей могут улучшить качество модели.

### Выводы

1. Результаты ретроспективного анализа за 2010—2019 гг. показали, что на большинстве территорий России за указанный период произошло увеличение среднемесячных значений температуры воздуха преимущественно в январе (в 76 субъектах в диапазоне от 0,1 до 6,3°C), увеличение количества выпадаемых осадков в июле (в 57 субъектах в диапазоне от 0,5 до

41,5 мм) и в январе (в 49 субъектах в диапазоне от 1,5 до 116 мм), что соотносится с наблюдаемыми общемировыми тенденциями.

2. Анализ изменения показателя ОПЖ, ассоциированного с влиянием погодно-климатического фактора на показатели повозрастной смертности от болезней системы кровообращения, по ретроспективным данным (2010—2019 гг.) показал вариативное влияние данной группы факторов на показатели общественного здоровья. При этом для территорий с умеренным атлантико-континентальным климатом, который характерен для большинства регионов России, установлено средневзвешенное по численности населения вероятное увеличение показателя ОПЖ на 2,9 дня с вариативным эффектом на отдельных территориях данной климатической зоны. Максимальное увеличение ОПЖ установлено для регионов с умеренным муссонным климатом (+27,5 дня), максимальное снижение — для умеренного морского климата (153,5 дня).

3. Наиболее значимое влияние изменения погодно-климатических факторов в 2010—2019 гг. оказали на повозрастные показатели смертности от болезней системы кровообращения преимущественно старших возрастных групп: в целом по России для возрастов 60—64 года — 6,03 дополнительных случая на 100 тыс. населения, 65—69 лет — 9,8 случая на 100 тыс. населения. Наибольшие потери среди населения данных возрастов формируются на территориях с умеренным морским климатом (104,9 и 121,7 дополнительных случаев на 100 тыс. населения соответственно).

4. Сценарное увеличение температуры атмосферного воздуха на 1 °C в зимний период (в январе) сопряжено с нарастанием коэффициентов смертности от БСК и соответствующим снижением показателя ОПЖ во всех климатических зонах РФ от 0,04 дня в муссонном умеренном до 2,8 дня в арктическом климате. Сценарное увеличение количества осадков (+10 мм) также ассоциировано с вероятными потерями популяционного здоровья (ОПЖ) в преобладающем количестве климатических зон как в зимний, так и в летний период до 25,0 и 8,7 дней; максимумы установлены на территориях горных областей Северного Кавказа; минимумы в зимний период — в горных областях Алтая и Саян (–5,8 дня), в летний — в арктическом климате (–0,3 дня).

5. При сценарном увеличении наблюдаемых в 2019 г. температурных отклонений на 0,5 °C ожидается снижение показателя ОПЖ на территориях всех рассматриваемых климатических зон в январе до 11,2 дня в горных областях Северного Кавказа и в июле — до 18,3 дня на территориях с умеренным морским климатом.

6. Несмотря на невозможность прямого управления погодно-климатическим фактором, полученные в рамках исследований результаты целесообразно учитывать при разработке медико-профилактических мероприятий (адаптация, митигация) для профилактики болезней системы кровообращения на территориях с различным типом климата. Данные программы регионального и федерального уровней должны принимать во внимание текущий регионально дифференцированный социально-экономический и санитарно-эпидемиологический фон, оказывающий модифицирующее влияние на наблюдаемые ассоциированные с климатическим фактором медико-демографические процессы.

## Литература

1. **Второй** оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. — М., Росгидромет, 2014, 60 с.
2. **Глухих М. В., Клейн С. В., Кирьянов Д. А., Камалтдинов М. Р.** Прогноз ожидаемой продолжительности жизни населения России на основе модели влияния комплекса социально-гигиенических детерминант на коэффициенты по возрастной смертности на примере болезней системы кровообращения. — Анализ риска здоровью, 2022, № 3, с. 98—109.
3. **Изменение** климата и здоровье. — ВОЗ; <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health> (дата обращения 02.10.2023).
4. **Карпов Ю. А., Булкина О. С., Лопухова В. В., Козловская И. Л.** Влияние климатических и метеорологических факторов на течение ишемической болезни сердца. — Кардиологический вестник, 2013, т. 8, № 2(20), с. 41—48.
5. **Киотский** протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата ООН; [https://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/kyoto.shtml](https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/kyoto.shtml) (дата обращения 02.10.2023).
6. **МР 2.1.10.0269-21.** Определение социально-гигиенических детерминант и прогноз потенциала роста ожидаемой продолжительности жизни населения Российской Федерации с учетом региональной дифференциации. /Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ А. Ю. Поповой 14 декабря 2021 г. — М., 2021, 113 с.
7. **Парижское** соглашение; [https://unfccc.int/files/meetings/paris\\_nov\\_2015/application/pdf/paris\\_agreement\\_russian\\_.pdf](https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf) (дата обращения 02.10.2023).
8. **Ревич Б. А., Шапошников Д. А.** Изменения климата, волны жары и холода как факторы риска повышенной смертности населения в некоторых регионах России. — Проблемы прогнозирования, 2012, № 2(131), с. 122—139.
9. **Регионы России.** Основные характеристики субъектов Российской Федерации. 2022. /Стат. сб. — М., Росстат, 2022, 853 с.
10. **Руководство** по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами. /Под ред. Н. В. Кобышевой. — СПб, 2008, 336 с.
11. **Щур А. Е., Тимонин С. А.** Центр-периферийные различия продолжительности жизни в России: региональный анализ. — Демографическое обозрение, 2020, т. 7, № 3, с. 108—133; doi: 10.17323/demreview.v7i3.11638.
12. **Charlson F., Ali S., Benmarhnia T., Pearl M., Massazza A., Augustinavicius J., and Scott J. G.** Climate change and mental health: A scoping review. — Int. J. Environ. Res. and Public Health, 2021, vol. 18, No. 9, 4486; <https://doi.org/10.3390/ijerph18094486>.
13. **Gasparrini A., Guo Y., Hashizume M., Lavigne E., Zanobetti A., Schwartz J., Tobias A., Tong S., Rocklov J., Forsberg B., Leone M., De Sario M., Bell M. L., Guo Y. L., Wu C. F., Kan H., Yi S. M., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho M., Saldiva P. H., Honda Y., et al.** Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: A multicountry observational study. — Lancet, 2015, vol. 386, No. 9991, pp. 369—375; [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0).
14. **Global Burden of Disease 2019 Risk Factors Collaborators** Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990—2019: A systematic analysis for the global burden of disease study 2019. — Lancet, 2020, vol. 396, No. 10258, pp. 1223—1249; [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30752-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30752-2).
15. **Gosling S. N., Lowe J. A., McGregor G. R., et al.** Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: A critical review of the literature. — Climatic Change, 2009, vol. 92, pp. 299—341; <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9441-x>.
16. **Haines A. and Ebi K.** The imperative for climate action to protect health. — N. Engl. J. Med., 2019, vol. 380, No. 3, pp. 263—273; <https://doi.org/10.1056/NEJMr1807873>.
17. **Huynen M. M. T. E. and Martens P.** Climate change effects on heat- and cold-related mortality in the Netherlands: A scenario-based integrated environmental health impact assessment. — Int. J. Environ. Res. and Public Health, 2015, vol. 12, No. 10, pp. 13295—13320; <https://doi.org/10.3390/ijerph121013295>.

18. **IPCC**, 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty; <https://www.ipcc.ch/sr15/> (дата обращения 2.10.2023).
19. **Liu Y., Dong X., Li Z., Zhu S., Lin Z., He G., Gong W., Hu J., Hou Z., Meng R., Zhou C., Yu M., Huang B., Lin L., Xiao J., Zhong J., Jin D., Xu Y., Lv L., Huang C., et al.** The combined effects of short-term exposure to multiple meteorological factors on unintentional drowning mortality: Large case-crossover study. — *JMIR Public Health and Surveillance*, 2023, vol. 9, e46792; <https://doi.org/10.2196/46792>.
20. **Moghadamnia M. T., Ardalan A., Mesdaghinia A., Keshtkar A., Naddafi K., and Yekaninejad M. S.** Ambient temperature and cardiovascular mortality: A systematic review and meta-analysis. — *Peer. J.*, 2017, vol. 5, e3574; <https://doi.org/10.7717/peerj.3574>.
21. **Muller C., Ouedraogo W. A., Schwarz M., Barteit S., and Sauerborn R.** The effects of climate change-induced flooding on harvest failure in Burkina Faso: Case study. — *Frontiers in Public Health*, 2023, vol. 11, 1166913; <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1166913>.
22. **Ng C. F. S.** Temperature and rainfall. /In: *Handbook of Air Quality and Climate Change*. H. Akimoto and H. Tanimoto (eds.). — Singapore, Springer, 2023; [https://doi.org/10.1007/978-981-15-2760-9\\_23](https://doi.org/10.1007/978-981-15-2760-9_23).
23. **OECD** Policy Responses to Coronavirus (COVID-19). The Territorial Impact of COVID-19: Managing the Crisis across Levels of Government. OECD, Updated November 10, 2020; <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/the-territorial-impact-of-covid-19-managing-the-crisis-across-levels-of-government-d3e314e1/#notes-d4e4576> (дата обращения 2.10.2023).
24. **Paterson D. L., Wright H., and Harris P. N. A.** Health risks of flood disasters. /In: *Clinical Infectious Diseases: An Official Publication of the Infectious Diseases Society of America*, 2018, vol. 67, No. 9, pp. 1450—1454; <https://doi.org/10.1093/cid/ciy227>.
25. **Rocque R. J., Beaudoin C., Ndjaboue R., et al.** Health effects of climate change: An overview of systematic reviews. — *BMJ Open*, 2021, vol. 11, No. 6; <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-046333>.
26. **Romanello M., McGushin A., Di Napoli C., et al.** The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: Code red for a healthy future. — *Lancet*, 2021, vol. 398, No. 10311, pp. 1619—1662; [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01787-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01787-6).
27. **Song J., Pan R., Yi W., et al.** Ambient high temperature exposure and global disease burden during 1990—2019: An analysis of the Global Burden of Disease Study 2019. — *Sci. Total Environ.*, 2021, p. 787; <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147540>.
28. **Valente M., Zanellati M., Facci G., Zanna N., Petrone E., Moretti E., et al.** Health System Response to the 2023 Floods in Emilia-Romagna, Italy: A field report. — *Prehospital and Disaster Medicine*, 2023, pp. 1—5; <https://doi.org/10.1017/S1049023X23006404>.
29. **WASP** Science for Adaptation Policy Briefs. United Nations Environment Programme; [https://wasp-adaptation.org/images/Resources/WASP\\_Science\\_for\\_Adaptation\\_Policy\\_Brief\\_No.\\_2.pdf](https://wasp-adaptation.org/images/Resources/WASP_Science_for_Adaptation_Policy_Brief_No._2.pdf) (дата обращения 2.10.2023).
30. **WHO**. COP24 Special Report: Health and Climate Change, 2018; <https://www.who.int/publications/i/item/9789241514972> (дата обращения 2.10.2023).
31. **WHO** Coronavirus (COVID-19) Dashboard. — WHO; <https://covid19.who.int/> (дата обращения 2.10.2023).
32. **Zaitseva N. V., Kleyn S. V., Kiryanov D. A., Glukhikh M. V., and Kamaltdinov M. R.** Emergence and variability of influence exerted by weather and climatic factors on life expectancy in the Russian Federation taking into account differentiation of RF regions as per socioeconomic and sanitary-epidemiologic determinants. — *Health Risk Analysis*, 2020, No. 4, pp. 62—75; <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.4.07.en>.