



Научная статья

ЭМЕРДЖЕНТНОСТЬ И ВАРИАТИВНОСТЬ ВЛИЯНИЯ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОЖИДАЕМУЮ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ С УЧЁТОМ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ РЕГИОНОВ ПО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМ И САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИМ ДЕТЕРМИНАНТАМ

Н.В. Зайцева¹, С.В. Клейн¹, Д.А. Кирьянов^{1,2}, М.В. Глухих¹, М.Р. Камалтдинов¹

¹Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Россия, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

²Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Настоящее исследование посвящено оценке влияния погодного-климатического фактора на ожидаемую продолжительность жизни (ОПЖ) населения Российской Федерации на фоне комплекса социально-экономических и санитарно-эпидемиологических детерминант. Для оценки влияния данного фактора на ОПЖ применена математическая модель, основанная на нейронных сетях.

Установлено, что за период 2010–2018 гг. климат в большинстве субъектов РФ изменился в сторону увеличения среднемесячных температур (отклонения от среднемноголетних температур воздуха за июль составили +1,2 °С, за январь – +1,5 °С), изменения режима выпадения осадков (отклонения осадков в июле составили –1,9 %, в январе – +13,0 %). Получено, что наибольшее прямое влияние на рост ОПЖ оказывает «среднемесячная температура воздуха за июль»: так, увеличение данного показателя на 1 % обеспечивает рост ОПЖ на 1,7 дня.

Наиболее значимым фактором, приводящим к снижению ОПЖ, являлся показатель «среднемесячное количество осадков за январь», увеличение которого на 1 % обуславливало снижение ОПЖ на 0,12 дня. Показано, что математическое ожидание вариативности потерь ОПЖ в субъектах РФ, полученное на основе 85 сценариев погодного-климатических условий, составило от –4,2 до –348,7 дня. В целом по РФ средневзвешенное по численности населения значение климатоассоциированных потерь ОПЖ составило 191,7 дня. Установлено, что климатоассоциированные потери ОПЖ в субъектах Северного Кавказа достоверно ниже, чем в регионах умеренной зоны с атлантико-континентальным и континентальным климатом (в 1,6 и 1,8 раза соответственно). При сравнительном анализе потерь ОПЖ от влияния климата в субъектах РФ, типизированных по социально-экономическим показателям, выявлены достоверные различия между отдельными группами регионов ($p = 0,006–0,01$). Достоверных различий по климато-ассоциированным потерям ОПЖ среди групп регионов с различным уровнем санитарно-эпидемиологического благополучия не установлено.

Ключевые слова: ожидаемая продолжительность жизни, климат, погодно-климатический фактор, глобальное изменение климата, искусственные нейронные сети, факторный анализ, население РФ, демографическая политика РФ.

© Зайцева Н.В., Клейн С.В., Кирьянов Д.А., Глухих М.В., Камалтдинов М.Р., 2020

Зайцева Нина Владимировна – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель (e-mail: znv@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 233-11-25; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

Клейн Светлана Владиславовна – доктор медицинских наук, заведующий отделом системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга (e-mail: kleyn@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>).

Кирьянов Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, заведующий отделом математического моделирования систем и процессов; доцент кафедры экологии человека и безопасности жизнедеятельности (e-mail: kda@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5406-4961>).

Глухих Максим Владиславович – аспирант, младший научный сотрудник (e-mail: gluhih@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4755-8306>).

Камалтдинов Марат Решидович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник с исполнением обязанностей заведующего лабораторией ситуационного моделирования и экспертно-аналитических методов управления (e-mail: kmr@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0969-9252>).

Зарубежные и отечественные исследования последствий глобальных изменений климата отражают их существенное влияние на здоровье населения. При этом в публикациях приводятся значительное количество фактов, подтверждающих прямое и косвенное, но в большинстве своем негативное воздействие исследуемых процессов на здоровье человека.

Главные тезисы докладов, составленных Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК), гласят, что за период чуть более ста лет увеличение глобальной температуры составило около 1,0 °C; увеличение среднемирового уровня моря обусловлено потеплением мирового океана и таянием ледников и снега; по этой же причине происходит уменьшение запасов питьевой воды. К одной из основных причин потепления эксперты относят повсеместное увеличение выбросов парниковых газов в результате индустриализации многих стран, при этом основные прогнозные оценки на текущее столетие ограничиваются 1,5–2,0 °C [1, 2].

Данная проблема актуальна для всех стран, в том числе и для РФ, в связи с чем в 2004 г. был ратифицирован Киотский протокол, а в 2016 г. – подписано Парижское соглашение (пока не вступившее в силу)¹ [3]. Данные международные договоры основаны на Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата, основной целью которой является снижение эмиссии парниковых газов для стабилизации климатической системы, что позволяет снизить риски для человечества в целом².

На национальном уровне в Российской Федерации действует Климатическая доктрина, целью которой ставится «... обеспечение безопасного и устойчивого развития РФ, включая институциональный, экономический, экологический и социальный, в том числе *демографический*, аспекты развития в условиях изменяющегося климата...»³. Помимо климатической доктрины в РФ реализуется ряд экологических проектов, которые могут помочь в решении проблемы изменяющегося климата. В частности, национальный проект «Экология» направ-

лен на снижение совокупного объема выбросов к 2024 г. на 22,0 % в крупных промышленных центрах, что в свою очередь минимизирует риски здоровью и снизит медико-демографические потери⁴.

Согласно «Докладу Росгидромета о климатических рисках на территории РФ» потепление климата в России происходит значительно быстрее (в 2,5 раза), чем в среднем по миру. Наиболее интенсивно данный процесс происходит в арктической и субарктической зонах РФ. Кроме повышения температуры приземной атмосферы происходит изменение количества осадков, особенно зимних и весенних, в восточных и северных регионах страны, где ожидается их значительный рост на протяжении текущего столетия⁵.

В докладе также упоминается растущая угроза опасных погодных и климатических явлений, на которые приходится до 90,0 % наиболее ощутимых экономических потерь. Судя по приводимой в документе статистике, число таких явлений заметно выросло от 150–200 в 1990–2000 гг. до 250–300 в последующие годы с тенденцией к их росту. Помимо увеличения частоты паводков, наводнений, засух и других опасных природных явлений, возрастает их интенсивность, приводя к еще большему экономическому и демографическому бремени от климатического фактора. Кроме того, ожидается повсеместное увеличение продолжительности волн тепла с одновременным сокращением волн холода.

Выводы о влиянии погодно-климатического фактора на здоровье населения сопряжены с высоким уровнем неопределенности и позволяют дать лишь приблизительные оценки, так как большинство изменений, связанных с климатом, касаются его опосредованного влияния на человека. С уверенностью можно судить лишь о прямых потерях, обусловленных стихийными бедствиями, жертвами которых становятся десятки тысяч людей ежегодно. Усиление таких явлений, как волны жары, приводит к увеличению числа летальных исходов среди людей, страдающих болезнями системы кровообращения и органов дыхания, особенно среди пожилых лиц и городского населения [4].

¹ Парижское Соглашение // Организация Объединенных Наций (ООН). – 2015. – 19 с.; Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата [Электронный ресурс] // Организация Объединенных Наций (ООН). – 1997. – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/kyoto.shtml (дата обращения: 30.09.2020); О ратификации Киотского протокола к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата: Федеральный закон от 4 ноября 2004 г. № 128-ФЗ [Электронный ресурс] // Законы, кодексы и нормативно-правовые акты в Российской Федерации. – 2004. – URL: <https://legalacts.ru/doc/federalnyi-zakon-ot-04112004-n-128-fz-o/> (дата обращения: 30.09.2020).

² Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата [Электронный ресурс] // Организация Объединенных Наций (ООН). – 1992. – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml (дата обращения: 30.09.2020).

³ О климатической доктрине Российской Федерации: Распоряжение Президента РФ от 17.12.2009 № 861-рп [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – 2009. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94992/ (дата обращения: 30.09.2020).

⁴ Паспорт национального проекта «Экология» / утв. президиумом совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 г. № 16). – 2018. – 48 с.

⁵ Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. – СПб., 2017. – 106 с.

К косвенным причинам, приводящим к повышению уровней заболеваемости и смертности среди населения от погодно-климатического фактора, можно отнести: угрозу продовольственной безопасности (засухи, град, наводнения), расширение ареала обитания переносчиков и увеличение продолжительности сезонов трансмиссивных инфекций (малярия), ухудшение качества и снижение запасов питьевой воды (диарея), климатическая миграция и прочее [5]. Особенно выражено данное бремя в развивающихся странах, в которых системы здравоохранения не могут эффективно противодействовать надвигающейся угрозе. По оценкам Всемирной организации здравоохранения изменение климата за период 2030–2050 гг. увеличит ежегодное количество смертей до 250 тысяч в год, из которых 38 тысяч будут связаны с воздействием жары на группы риска, 108 тысяч – с малярией и диареей и 95 тысяч смертей – от детского недоедания [4].

Заключения официальных экспертов подкрепляются результатами исследований как отечественных, так и зарубежных ученых по вопросам изменения климата и рисков для здоровья населения. Все чаще в различных странах научным сообществом поднимается вопрос о влиянии температурных волн жары и холода на смертность населения.

В национальном исследовании Н. Achebak et al. [6] в Испании было показано, что при повышенных и пониженных температурах воздуха наблюдается повышенный относительный риск (ОР) смерти от болезней системы кровообращения. При этом в исследовании отмечаются некоторые возраст-половые особенности: так, при высоких температурах риск для женщин был выше, чем для мужчин, как и для людей в возрасте старше 90 лет по сравнению с группой 60–74 лет.

В исследовании М. Medina-Ramon, J. Schwartz на большой выборке городов США было показано, что при экстремальных температурах (холода и жары) увеличивается смертность от инфаркта миокарда, при этом эффект от снижения смертности от простудных заболеваний на фоне увеличивающейся смертности от жары незначителен [7].

В публикации L. Zhang et al. [8] говорится о тесной взаимосвязи социально-экономических показателей территории, на которой фиксируются волны тепла. С увеличением уровня смертности среди населения, особенно пожилого возраста.

Исследования, проведенные в Китае, демонстрируют, что волны тепла увеличивают потери потенциальных лет жизни (показатель YLL⁶), причем как в субтропическом, так и в умеренно-континен-

тальном климате. Кроме того кумулятивный эффект от тепловых волн выше, чем однократное воздействие. Проявляется он более выражено среди населения старших возрастов [9, 10].

В ряде исследований сообщается, что увеличение смертности в ходе глобального изменения климата будет не только от погодно-климатического фактора, но и от связанного с ним увеличения содержания в атмосфере озона и твердых частиц (РМ) [11–14]. Также существуют данные о вероятном влиянии климатического фактора на ожидаемую продолжительность жизни (ОПЖ), в которых сообщается о снижении ОПЖ на 0,12–0,39 г. в среднем по Европе. Некоторые страны будут фиксировать значительно большее сокращение ОПЖ [15].

В работе Б.А. Ревича и Д.А. Шапошникова, посвященной изучению влияния климата на показатели здоровья населения на территориях Российской Федерации с резко-континентальным климатом, было показано достоверное увеличение риска повышенной смертности от всех естественных причин смерти, особенно от инсультов, обусловленных волнами жары (возраст старше 65 лет: ОР = 1,44). Влияние волн холода менее выражено, но также характеризуется достоверными значениями (ОР = 1,11) [16]. Аналогичные результаты получены и в отношении других критериев, таких как ветрохолодовой индекс, эффективная температура воздуха и универсальный индекс теплового комфорта⁷ [17].

В результате обобщения данных научных публикаций и экспертных мнений по вопросу влияния погодно-климатических факторов на состояние здоровья населения можно сделать вывод, что большинство из них констатируют масштабные, порой даже катастрофические эффекты, связанные с повышением смертности и, следовательно, уменьшением ожидаемой продолжительности жизни. Вместе с тем глобальное потепление, проявляющееся в увеличении средних температур на 1–2 °C для регионов с суровым климатом может приводить и к его смягчению, что, в свою очередь, может обусловить снижение экстремальных явлений.

К подобным выводам склоняются и эксперты Росгидромета, которые констатируют: «... среди положительных последствий изменения климата на территории России – в целом улучшение климатических условий для растениеводства, увеличение водных ресурсов, удлинение навигационного периода на Северном морском пути. Наблюдаемая тенденция уменьшения продолжительности отопительного периода и повышение его средней температуры (до 0,8 °C/10 лет в центральной Якутии) способствует увеличению тепловой эффективности существующих зданий и создает условия для сокращения энергопо-

⁶ YLL – years of life lost (потерянные годы вследствие преждевременной смертности).

⁷ Определение порогов температурно-зависимой смертности на основе универсального индекса теплового комфорта / Н.В. Шартова, Д.А. Шапошников, П.И. Константинов, Б.А. Ревич // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 3. – С. 83–93. DOI: 10.21668/health.risk/2019.3.10

требления...»⁸ [18]. Прогнозируемые улучшения в различных секторах экономики при наблюдаемых изменениях климата могут иметь отражение в положительных изменениях показателей здоровья населения и снижении медико-демографических рисков.

Так как большинство регионов РФ характеризуется сравнительно суровыми климатическими условиями, прямой перенос значительного числа научных выводов не является обоснованным, а актуальность темы требует проведения дополнительных исследований. Более того, в научных постановках практически отсутствуют задачи оценки вклада влияния сложившихся погодно-климатических факторов на состояние здоровья населения на фоне социально-экономических, санитарно-эпидемиологических и других условий проживания.

Цель исследования – оценить эмерджентность и вариативность влияния погодно-климатических факторов на ожидаемую продолжительность жизни населения Российской Федерации на фоне комплекса социально-экономических и санитарно-эпидемиологических условий проживания.

Материалы и методы. Для оценки влияния погодно-климатических условий на ожидаемую продолжительность жизни населения РФ на фоне комплекса социально-экономических и санитарно-эпидемиологических факторов было проведено исследование системы причинно-следственных связей показателей, охватывающих все сферы и условия проживания населения, объединенных в шесть групп (детерминант): «показатели системы здравоохранения», «показатели санитарно-эпидемиологического благополучия территорий», «показатели экономической сферы», «показатели образа жизни населения», «показатели социально-демографической сферы», «погодно-климатические условия проживания».

Исследование проводилось на основе применения методов системного анализа и опиралось на официальную статистическую информацию, предоставленную Федеральной службой государственной статистики. Анализ системы причинно-следственных связей проводился на базе построенной математической модели, основанной на нейронных сетях.

При решении задачи моделирования в качестве входных (независимых) переменных помимо погодно-климатических были использованы показатели,

отражающие социально-экономические и санитарно-эпидемиологические условия проживания, а также показатели образа жизни, подробно рассмотренные в предыдущих исследованиях⁹. В качестве погодно-климатических факторов использовались параметры среднемесячных температур воздуха и количество осадков в июле и январе, а также их отклонения от среднесезонных значений в разрезе субъектов РФ за период 2010–2018 гг.¹⁰. Показатель ожидаемой продолжительности жизни в регионах РФ, выступающий в качестве зависимой переменной, оценивался на основе данных Федеральной службы государственной статистики за 2010–2018 гг.¹¹.

На основе собранной информации, отражающей пространственно-временное распределение исследуемых показателей, было выполнено моделирование системы причинно-следственных связей. В силу значительного количества переменных, включенных в модель, и наличия множественных внутренних корреляционных взаимосвязей осуществлено понижение размерности входных данных с использованием процедуры факторного анализа, в результате которого исходная система из 148 показателей (социально-экономических, санитарно-эпидемиологических, климатических) преобразована в 33 общих фактора.

Моделирование системы причинно-следственных связей проводилось на основе построения нейросетевой модели, учитывающей множественность и нелинейность зависимостей между отдельными показателями. Обучение нейронной сети проводилось на основе значений общих факторов, рассчитанных для каждого региона РФ и показателя ОПЖ.

Используя обученную нейросетевую модель системы причинно-следственных связей, отражающую влияние комплекса показателей на ожидаемую продолжительность жизни, решались две аналитические задачи, первая из которых заключалась в оценке показателей по интенсивности влияния исследуемых показателей на ОПЖ, вторая – в оценке вклада сложившихся погодно-климатических условий в потерю лет ожидаемой продолжительности жизни.

Для решения первой задачи были проведены модельные расчеты изменений ожидаемой продолжительности жизни при последовательном увеличении каждого из анализируемых показателей на 1 % относительно среднероссийских значений. Такое

⁸ Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Раздел 6. Воздействие изменения климата на хозяйственные объекты и здоровье населения. Меры адаптации к этим воздействиям. – М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2014. – С. 43–56.

⁹ Социально-экономические детерминанты и потенциал роста ожидаемой продолжительности жизни населения Российской Федерации с учетом региональной дифференциации / Н.В. Зайцева, Г.Г. Онищенко, А.Ю. Попова, С.В. Клейн, Д.А. Кирьянов, М.В. Глухих // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 4. – С. 14–29; Санитарно-эпидемиологические детерминанты и ассоциированный с ними потенциал роста ожидаемой продолжительности жизни населения Российской Федерации / А.Ю. Попова, Н.В. Зайцева, Г.Г. Онищенко, С.В. Клейн, М.В. Глухих, М.Р. Камалудинов // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 1. – С. 14–17.

¹⁰ Российский статистический ежегодник. 2019: Статистический сборник // Росстат. – М., 2019 – 708 с.

¹¹ Регионы России. Социально-экономические показатели. 2019: Р32: статистический сборник // Росстат. – М., 2019. – 1204 с.

исследование позволило получить осредненные сравнительные оценки изменений ожидаемой продолжительности жизни для каждого показателя, выступающие в качестве критерия ранжирования.

Определение вклада погодноклиматических факторов в ожидаемую продолжительность жизни осуществлялось на основе проведения серии численных экспериментов, отражающих вероятные изменения ОПЖ в регионах РФ при изменении значений независимых переменных. Для этого на входной слой нейронной сети подавались сигналы – фактические и сценарные значения санитарно-эпидемиологических, социально-экономических и погодноклиматических факторов, преобразованных через факторный анализ в общие факторы. Разность прогнозных значений ОПЖ, рассчитанная с использованием сценарных и фактических значений переменных, использовалась в качестве меры вероятных изменений ожидаемой продолжительности жизни, ассоциированной с изменениями исследуемых факторов (1):

$$\Delta \text{ОПЖ}_j^k = \Phi(\tilde{X}_j^k) - \Phi(\tilde{X}_j^0), \quad (1)$$

где $\Delta \text{ОПЖ}_j^k$ – изменение ожидаемой продолжительности жизни в j -м регионе РФ в условиях k -го сценария воздействия факторов, дней;

$\Phi(\tilde{X}_j^k)$ – оценка ожидаемой продолжительности жизни в j -м регионе РФ согласно нейросетевой модели в соответствии с k -м сценарием воздействия факторов, дней;

\tilde{X}_j^k – вектор входных переменных в нейросетевую модель, соответствующих j -му региону РФ согласно k -го сценария воздействия факторов после проведения процедуры факторного преобразования;

$\Phi(\tilde{X}_j^0)$, \tilde{X}_j^0 – величины, соответствующие нулевому сценарию, который состоит в присвоении переменным реальных значений показателей в регионе.

В каждом сценарии численного эксперимента были зафиксированы все переменные, кроме показателей, отражающих природноклиматические условия, а значения последних последовательно приравнивались к значениям одного из регионов РФ. Всего было разработано и исследовано 85 сценариев (по количеству регионов).

В каждой из 85 моделей климатических условий определялся субъект РФ с наибольшими потерями ОПЖ, условно считающийся наиболее «благополучным» в анализируемом сценарии: при применении погодноклиматических параметров модели последние оказывали на него максимальный эффект снижения ОПЖ, тем самым демонстрируя, что данный субъект

имеет «лучшие» погодноклиматические параметры по сравнению с модельными параметрами в части формирования потерь ОПЖ. Данный «благополучный» субъект использовался в качестве региона сравнения в данном сценарии, и по отношению к нему определялись потери ОПЖ, обусловленные погодноклиматическими параметрами модели, в других субъектах РФ. Оценка потерь ожидаемой продолжительности жизни для каждого региона проводилась по разности расчетных изменений с величинами, полученными для условно благополучного региона (2):

$$\delta \text{ОПЖ}_j^k = \min_j(\Delta \text{ОПЖ}_j^k) - \Delta \text{ОПЖ}_j^k, \quad (2)$$

где $\delta \text{ОПЖ}_j^k$ – потери ожидаемой продолжительности жизни в j -м регионе РФ в условиях k -го сценария воздействия факторов, дней.

Для окончательной оценки полученные значения по всем 85 сценариям осреднялись (3):

$$\overline{\delta \text{ОПЖ}}_j = 1/K \sum_k \delta \text{ОПЖ}_j^k, \quad (3)$$

где $\overline{\delta \text{ОПЖ}}_j$ – осредненные потери ожидаемой продолжительности жизни в j -м регионе РФ по k -сценариям воздействия факторов, дней;

Обобщение результатов региональных оценок потерь ОПЖ на РФ проводилось на основе взвешенного осреднения, при котором в качестве весового коэффициента выступала численность постоянного населения (4):

$$\overline{\delta \text{ОПЖ}}_{\text{РФ}} = \frac{\sum_j N_j \overline{\delta \text{ОПЖ}}_j}{\sum_j N_j}, \quad (4)$$

где $\overline{\delta \text{ОПЖ}}_{\text{РФ}}$ – средневзвешенные потери ожидаемой продолжительности жизни в РФ, дней;

N_j – численность населения в j -м регионе РФ, человек.

Моделирование системы причинно-следственных связей между исследуемыми показателями с применением нейронных сетей и последующие расчеты выполнялись в среде RStudio (пакет neuralnet).

Оценка климатоассоциированных потерь ожидаемой продолжительности жизни в субъектах РФ, классифицированных по социально-экономическим и санитарно-эпидемиологическим показателям, основывалась на полученных в предыдущих исследованиях результатах типологизации территорий по данным детерминантам¹².

Результаты и их обсуждение. Согласно данным государственной статистики, 68 регионов Рос-

¹² Социально-экономические детерминанты и потенциал роста ожидаемой продолжительности жизни населения Российской Федерации с учетом региональной дифференциации / Н.В. Зайцева, Г.Г. Онищенко, А.Ю. Попова, С.В. Клейн, Д.А. Кирьянов, М.В. Глухих // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 4. – С. 14–29; Санитарно-эпидемиологические детерминанты и ассоциированный с ними потенциал роста ожидаемой продолжительности жизни населения Российской Федерации / А.Ю. Попова, Н.В. Зайцева, Г.Г. Онищенко, С.В. Клейн, М.В. Глухих, М.Р. Камалтдинов // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 1. – С. 14–17.

сии расположены в умеренном поясе с атлантико-континентальным и континентальным типом климата, в котором проживает до 84,9 % населения РФ. Территории шести субъектов РФ расположены в зонах арктического и субарктического поясов, часто в сочетании с морским типом климата (2,4 % населения РФ). Для 10 регионов РФ характерно преобладание климата горных областей Северного Кавказа, Алтая и Саян (8,6 % всего населения РФ)¹³.

Сравнительный анализ исследуемых погодно-климатических факторов показал, что за период 2010–2018 гг. средние отклонения от среднегогодовых температур за январь и июль, за исключением отдельных субъектов РФ, увеличивались в среднем на 1,7 °C в январе (от –1,0 °C до 3,3 °C) и на 1,3 °C в июле (от –0,7 °C до 2,3 °C) с превышением климатической среднемесячной нормы отклонений в ряде субъектов. Это подтверждает прогнозы относительно глобального потепления климата. Кроме того, наблюдаются изменения в средних отклонениях от среднегогодовых осадков (свыше $\pm 20,0$ % от нормы), выпадающих в январе и июле на территориях 33 субъектов РФ. Наиболее существенные отклонения регистрируются в январе – среднее отклонение 13,0 % (от –47,8 до 146,6 %) от среднегогодового среднемесячного значения зимнего месяца, в июле аналогичное отклонение составило минус 1,9 %. Анализ абсолютных температур, осредненных за период 2010–2018 гг., показал, что наиболее теплыми субъектами РФ в январе являются: Республика Крым (+1,4 °C), Краснодарский край (+0,8 °C) и Республика Адыгея (+0,5 °C), наиболее холодными в июле были: Чукотский автономный округ (+10,1 °C), Ненецкий автономный округ (+11,7 °C) и Камчатский край (+13,3 °C). Субъектом с самыми высокими температурами в июле является Астраханская область со среднегогодовыми значениями данного показателя +26,8 °C.

В процессе построения нейросетевой модели с использованием комплекса исследуемых погодно-климатических показателей по субъектам РФ была подобрана оптимальная структура сети, состоящая из двух внутренних слоев, содержащих 8 и 3 нейрона соответственно, и характеризующаяся максимальным коэффициентом детерминации $R^2 = 0,78$.

Оценка интенсивности влияния исследуемых показателей на ожидаемую продолжительность жизни показала, что к основным приоритетам следует отнести экономические и социально-демографические показатели, которые занимают первые 15 рейтинговых мест ранжированного списка, например изменение на 1 % показателя «Отработано в среднем на одного занятого в неделю часов» приводит к увеличению ОПЖ на 6,1 дня, «Доля населения трудоспособного возраста, %» – на 5,1 дня, «Доля занятого населения в возрасте 15–72 лет, имеющего высшее образование, %» – на 4,8 дня и пр.

Из погодно-климатических факторов наибольшее влияние на ожидаемую продолжительность жизни оказывает «среднемесячная температура воздуха за июль». Так, в среднем по РФ сценарное увеличение данного показателя на 1 % обеспечивает рост ОПЖ на 1,7 дня. Кроме данного показателя увеличение на 1 % остальных показателей за июль, таких как «отклонение от среднегогодовой нормы осадков за июль», «отклонение от среднегогодовой температуры за июль» и «среднемесячное количество осадков за июль», по расчетам приводило к росту ОПЖ на 0,4; 0,18 и 0,16 дня соответственно. Наиболее значимым, приводящим к снижению ОПЖ, явился показатель «среднемесячное количество осадков за январь», увеличение которого на 1 % обуславливало снижение ОПЖ на 0,12 дня. Увеличение на каждый процент остальных анализируемых погодно-климатических факторов января («среднемесячная температура воздуха за январь», «отклонение от среднегогодовой температуры за январь», «отклонение от среднегогодовой нормы осадков за январь») также детерминировало снижение показателя ожидаемой продолжительности жизни, кроме показателя «среднемесячная температура воздуха за январь», рост которого приводил к увеличению ОПЖ (таблица). Приведенные оценки носят среднероссийский характер и не учитывают региональной специфики. В связи с этим область применения и интерпретации полученных результатов ограничена федеральным обобщением и границами применения нейросетевой модели.

Сценарное моделирование, учитывающее региональные значения показателей, позволило получить дифференцированные оценки эмерджентного влияния погодно-климатических факторов на ожидаемую продолжительность жизни в условиях отдельных регионов. На рис. 1 приведены результаты региональной оценки потерь ожидаемой продолжительности жизни, обусловленных влиянием погодно-климатического фактора, полученные на основе сценарного моделирования по 85 климатическим моделям.

Исследование 85 сценариев погодно-климатических условий для каждого субъекта РФ позволило установить, что потери ожидаемой продолжительности жизни, обусловленные влиянием климатического фактора, в регионах страны имеют существенные различия и варьируются в диапазоне от –4 дней до –349 дней (см. рис. 1).

Зонирование территории РФ по величине потерь (см. рис. 1) отражает северо-восточный вектор их нарастания, который коррелирует с известным в научной литературе «северо-восточным градиентом

Зонирование территории РФ по величине потерь (см. рис. 1) отражает северо-восточный вектор их нарастания, который коррелирует с известным в научной литературе «северо-восточным градиентом

¹³ Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации. 2019: статистический сборник // Росстат. – М., 2019. – 766 с.

**Осредненное изменение показателя ожидаемой продолжительности жизни населения РФ
при изменении исследуемых погодно-климатических факторов на соответствующие им единицы
измерения (градусы Цельсия, миллиметры), на 1 %**

Показатель	Изменение ОПЖ (в днях) при		Границы применения нейросетевой модели, диапазон	
	увеличении показателя на 1,0 %	увеличении показателя на единицу измерения (градусы Цельсия, миллиметры)	от	до
Среднемесячная температура воздуха за июль, °С	1,68	8,83	7,2	29,2
Среднемесячное количество осадков за июль, мм	0,16	0,22	3,0	319,0
Отклонение от среднегогодовой температуры за июль, °С	0,18	16,82	-4,2	5,8
Отклонение от среднегогодовой нормы осадков за июль, %	0,35	0,35	4,0	359,0
Среднемесячная температура воздуха за январь, °С	0,08	0,64	-39,4	3,5
Среднемесячное количество осадков за январь, мм	-0,12	-0,33	2,0	169,0
Отклонение от среднегогодовой температуры за январь, °С	-0,04	-2,8	-7,4	8,9
Отклонение от среднегогодовой нормы осадков за январь, %	-0,08	-0,07	7,0	350,0

Потери ОПЖ в субъектах РФ



Рис. 1. Осредненные потери ожидаемой продолжительности жизни в субъектах РФ, обусловленной влиянием погодно-климатического фактора, полученные на основе 85 климатических моделей, дни

нарастания смертности» [19, 20]. При этом в том же направлении меняются и погодно-климатические условия, из чего можно сделать осторожное предположение, что грядущее потепление вероятно может привести к смягчению климата в большинстве регионов РФ и, как следствие, к некоторому росту ожидаемой продолжительности жизни.

Взвешенное осреднение полученных результатов показало, что величина потерь ОПЖ от погодно-климатического фактора для Российской Федерации составила 191,7 дня. К основным факторам, которые сформировали полученное значение, можно отнести среднемесячную температуру воздуха за июль (по-

рядка 76 %), отклонение от среднегогодовой нормы осадков за июль (15,8 %), отклонение от среднесреднегогодовой температуры за июль (8,1 %).

Анализ результатов осреднения по регионам, относящимся к различным природно-климатическим зонам, представленный на рис. 2, позволил обнаружить ряд особенностей, отражающих специфику и вариативность влияния комплекса показателей.

Вариативность и эмергентность влияния климатических факторов отражалась на формируемых ассоциированных с данным фактором потерях ОПЖ в регионах, расположенных в разных климатических поясах (широтных зонах). Так, потери ОПЖ



Рис. 2. Осредненные потери ОПЖ от воздействия погодно-климатического фактора по средневзвешенному по численности населения значению в группах субъектов РФ с различным типом климата, дни

в субъектах, расположенных в умеренной зоне с атлантико-континентальным типом климата (50 субъектов), составили в среднем минус 189 дней (диапазон значений от минус 244 дня в Республике Карелия до минус 4 дня в Республике Калмыкия) (рис. 3). Вариативность климатоассоциированных потерь ОПЖ обусловлена совокупным влиянием разнонаправленных климатических факторов, но в большей степени определяется температурами в январе (диапазон от минус 16,7 °C до плюс 1,6 °C; среднее значение по зоне – минус 8,5 °C; РФ – минус 12,0 °C) и июле (диапазон от плюс 11,7 °C до плюс 26,8 °C; среднее по зоне – плюс 20,2 °C; РФ – плюс 19,2 °C), осадками в январе (диапазон от 16,3 мм до 92,1 мм; среднее по зоне – 43,7 мм; РФ – 35,7 мм) и в июле

(диапазон от 18,6 мм до 93,6 мм; среднее по зоне – 66,9 мм; РФ – 72,4 мм).

Ассоциированные с климатическим фактором потери ОПЖ в умеренной зоне с континентальным типом климата (12 субъектов РФ) в среднем составили – 217 дней (диапазон значений составил от минус 283 дня в Красноярском крае до минус 133 дня в Республике Бурятия). Потери ОПЖ в данной климатической зоне обусловлены сравнительно меньшими температурами в январе (–20,6 °C; РФ – минус 12,0 °C) и июле (+17,5; РФ – +19,2 °C); при этом количество осадков в январе выпадает сравнительно меньше (18,6 мм; РФ – 35,7 мм), а в июле сравнительно больше (78,4 мм; РФ – 72,4 мм), чем в среднем по России.

Наибольшие ассоциированные с погодно-климатическим фактором, формируются в Магаданской области, расположенной в субарктической зоне с континентальным климатом: потери ОПЖ составили минус 346 дней (см. рис. 1, 3). Значительные потери ОПЖ в данном регионе ассоциированы с низкими температурами в январе (–27,2 °C; РФ – минус 12,0 °C) и июле (13,9 °C; РФ – 19,2 °C), а также сравнительно малым количеством осадков в июле (61,8 мм; РФ – 72,4 мм).

Наименьшие потери ОПЖ от воздействия погодно-климатического фактора зафиксированы в субъектах РФ, расположенных на территориях с климатом горных областей Северного Кавказа (пять субъектов РФ), средние потери составили минус 119 дней, диапазон значений варьировался от минус 175 дней в Республике Северная Осетия-Алания до минус 46 дней в Кабардино-Балкарской Республике (см. рис. 1, 3). Меньшие потери ОПЖ в субъектах данной клима-

Диапазоны потерь ОПЖ в днях:

- Арктический (от –349 до –164)
- Мор. Субарктический морской (от –233 до –220)
- Конт. Субарктический континентальный (–346)
- Мор. Умеренный морской (от –249 до –183)
- Мус. Умеренный муссонный (от –269 до –156)
- Конт. Умеренный континентальный (от –283 до –133)
- Умеренный атл.-континентальный (от –244 до –4)
- Области Северного Кавказа (от –175 до –46)
- Области Алтая и Саян (от –273 до –133)
- Муссонный (–232)

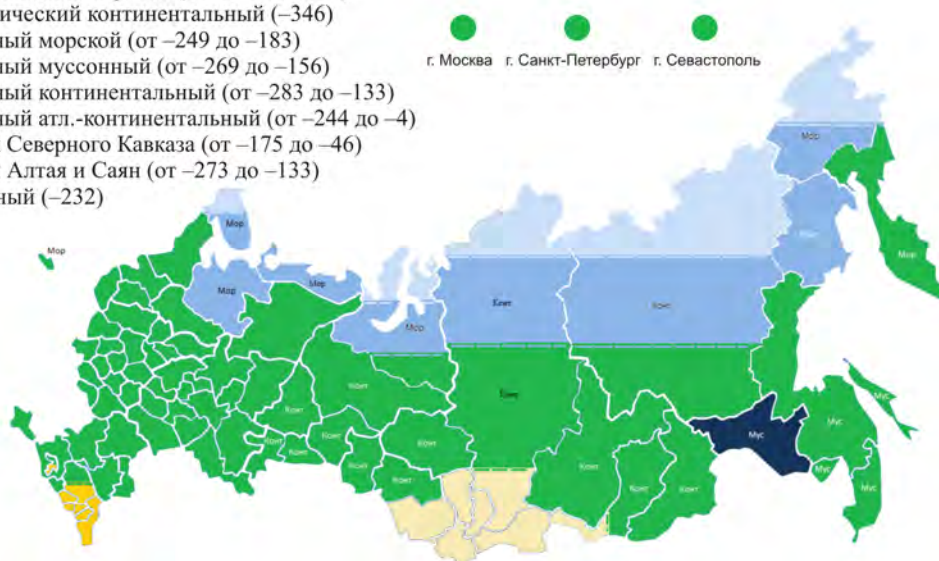


Рис. 3. Карта-схема климатических зон и типов климата в субъектах РФ и формируемые климатоассоциированные потери ОПЖ, дни (в субъектах РФ с несколькими типами климата схематично нанесена штриховка соответствующего цвета)

тической зоны обусловлены в среднем сравнительно более высокой температурой января ($-1,87^{\circ}\text{C}$; РФ – минус $12,0^{\circ}\text{C}$) и июля ($+22,9^{\circ}\text{C}$; РФ – плюс $19,2^{\circ}\text{C}$), а также меньшим количеством осадков в январе ($26,9\text{ мм}$; РФ – $35,7\text{ мм}$).

Полученные данные свидетельствуют, что большинство регионов РФ характеризуются существенными климатоассоциированными потерями ожидаемой продолжительности жизни, требующими разработки и реализации компенсаторных мер, в том числе в части улучшения социально-экономических показателей и осуществления региональных мер поддержки населения, проживающего в неблагоприятных погодно-климатических условиях.

Сравнительный анализ потерь ОПЖ в климатических зонах выявил достоверные различия (по критерию Манна – Уитни) между регионами, расположенными в горных областях Северного Кавказа, и субъектами, находящимися в умеренной зоне с атлантико-континентальным климатом ($p = 0,002$) и расположенными в умеренной зоне с континентальным климатом ($p = 0,003$).

Результаты проведенного анализа позволили выдвинуть гипотезу о возможном взаимном или одностороннем влиянии социально-экономических, санитарно-эпидемиологических и погодно-климатических факторов. В подтверждение данной гипотезы выполнены предварительные расчеты средних потерь ОПЖ для регионов, объединенные в группы (кластеры) по социально-экономическим и санитарно-эпидемиологическим показателям, приведенным в предыдущих исследованиях¹⁴.

Сравнительный анализ потерь ОПЖ, обусловленных влиянием погодно-климатического фактора, в кластерах, отражающих социально-экономическую дифференциацию регионов, показал, что наибольшие потери ОПЖ формируются в первом кластере, в который входило два субъекта РФ. Регионы данного кластера территориально располагаются в арктической зоне и зоне с умеренным атлантико-континентальным климатом. Среднее значение ассоциированных с климатическим фактором потерь ОПЖ в данном кластере составило минус 236 дней (Ямало-Ненецкий автономный округ – потери ОПЖ минус 238 дней, Ненецкий автономный округ – минус 164 дня). Данный кластер характеризовался высокими экономическими показателями, такими как инвестиции в основной капитал и внутренний региональный продукт на душу населения. Вместе с тем в данном кластере наблюдаются высокие уровни преступности, потребления алкоголя и неблагоустройства жилого фонда, что в свою очередь может потенцировать негативное влияние погодно-

климатических факторов и формировать дополнительные риски увеличения потерь ОПЖ. Так, в данный кластер вошли регионы, имеющие в среднем одни из самых низких температур воздуха за июль ($12,5^{\circ}\text{C}$; РФ – $19,2^{\circ}\text{C}$) и одни из самых низких показателей осадков в июле ($37,1\text{ мм}$; РФ – $72,4\text{ мм}$), а также сравнительно более значимое отклонение от среднесезонной температуры воздуха в июле ($1,5^{\circ}\text{C}$; РФ – $1,1^{\circ}\text{C}$).

Для второго кластера (следующего в порядке уменьшения климатоассоциированных потерь ОПЖ), характеризующегося сравнительно высокими экономическими показателями, низкими уровнями безработицы, высоким уровнем здравоохранения, но вместе с тем высоким уровнем продаж алкогольной продукции на душу населения, разводимости семейных пар и преступности, средневзвешенная оценка потерь составила минус 208 дней (диапазон от минус 349 дней в Чукотском автономном округе до минус 164 дней в Республике Саха). В данный кластер входит шесть субъектов РФ, расположенных в зонах с арктическим, субарктическим континентальным, умеренным атлантико-континентальным и континентальным климатом. Климатоассоциированные потери ОПЖ в регионах данного типа обусловлены сравнительно низкими температурами января (в среднем – минус $21,5^{\circ}\text{C}$; РФ – минус $12,0^{\circ}\text{C}$) и июля ($14,5^{\circ}\text{C}$; РФ – $19,2^{\circ}\text{C}$) и меньшим, чем в среднем по всем субъектам РФ ($72,4\text{ мм}$), количеством осадков в июле ($63,3\text{ мм}$), отклонением от среднесезонной температуры воздуха в июле ($0,9^{\circ}\text{C}$; РФ – $1,1^{\circ}\text{C}$).

Регионы третьего кластера, характерной особенностью которых являлось: соответствие значений большинства анализируемых социально-экономических показателей среднероссийским уровням, низкий уровень зарегистрированной безработицы, наиболее приближенные к рекомендуемым уровню потребления основных продуктов питания, высокие уровни преступности и разводимости семейных пар и высокая доля лиц старше трудоспособного возраста ($25,5\%$), показали средние потери ОПЖ минус 203 дня, диапазон значений по входящим в него субъектам от минус 283 дня (Красноярский край) до минус 137 дней (Краснодарский край). Регионы данного кластера (31 субъект РФ) территориально располагаются в зоне умеренного климата с атлантико-континентальным, континентальным и морским типами климата и характеризуются сравнительно более низкими показателями температуры в июле (в среднем – $18,6^{\circ}\text{C}$; РФ – $19,2^{\circ}\text{C}$) и январе ($-12,7^{\circ}\text{C}$; РФ – минус $12,0^{\circ}\text{C}$), более обильным количеством осадков в январе ($37,2\text{ мм}$; РФ – $35,7\text{ мм}$) и более значимым отклонением

¹⁴ Социально-экономические детерминанты и потенциал роста ожидаемой продолжительности жизни населения Российской Федерации с учетом региональной дифференциации / Н.В. Зайцева, Г.Г. Онищенко, А.Ю. Попова, С.В. Клейн, Д.А. Кирьянов, М.В. Глухих // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 4. – С. 14–29; Санитарно-эпидемиологические детерминанты и ассоциированный с ними потенциал роста ожидаемой продолжительности жизни населения Российской Федерации / А.Ю. Попова, Н.В. Зайцева, Г.Г. Онищенко, С.В. Клейн, М.В. Глухих, М.Р. Камалтдинов // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 1. – С. 14–17.

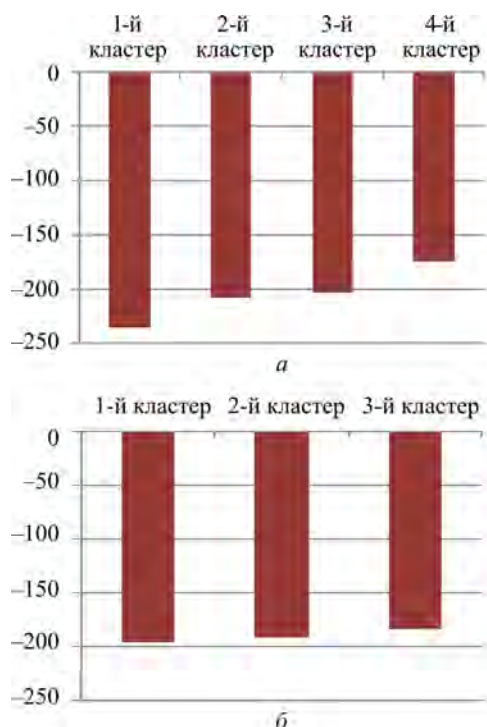


Рис. 4. Осредненные потери ОПЖ от воздействия погодно-климатического фактора по средневзвешенному по численности населения значению в группах субъектов РФ с различными социально-экономическими (а) и санитарно-эпидемиологическими (б) характеристиками, дни

от среднееголетней нормы осадков в июле (100,4 %; РФ – 98,0 %).

Кластером с наименьшими потерями ОПЖ от погодно-климатического фактора являлся четвертый кластер со средним значением показателя минус 175 дней и диапазоном от минус 273 дня (Республика Хакасия) до минус 4 дня (Республика Калмыкия). По социально-экономическому положению для данного кластера характерны низкие уровни зарегистрированных преступлений, разводимости семейных пар, аварийного жилого фонда, а также самый низкий среди кластеров уровень объемов продаж алкогольной продукции. Вместе с тем в субъектах кластера регистрируются низкие уровни экономических показателей, показателей здравоохранения и благоустройства жилого фонда. Регионы данного кластера территориально располагаются в зонах с умеренным атлантико-континентальным и континентальным климатом, а также с климатом горных областей Северного Кавказа, Алтая и Саян. Разнородность климатических условий регионов данного типа обусловила вариативность климатоассоциированных потерь ОПЖ. При этом факторами, обуславливающими сравнительно низкие климатоассоциирован-

ные потери ОПЖ, являлись: сравнительно малое количество осадков (71,2 мм; РФ – 73,3 мм), более существенное отклонение от среднееголетней нормы осадков в январе (118,2 %; РФ – 116,8 %); факторами роста ОПЖ были сравнительно высокие температуры января (–10,0 °C; РФ – минус 11,2 °C) и июля (+20,4 °C; РФ – плюс 19,7 °C).

Сравнение кластеров, отражающих социально-экономическую дифференциацию регионов, позволило выявить достоверные различия (по критерию Манна – Уитни) в климатоассоциированных потерях ОПЖ между четвертым и вторым кластером ($p = 0,01$), а также между четвертым и третьим кластерами ($p = 0,006$) (рис. 4, а).

Сравнительный анализ потерь ОПЖ, обусловленных влиянием погодно-климатического фактора, в кластерах, характеризующихся различными типами санитарно-эпидемиологического состояния регионов, не выявил значимых различий: в субъектах первого кластера средневзвешенные по численности населения потери ОПЖ от воздействия погодно-климатического фактора составили минус 196 дней, во втором и третьем минус 191 и минус 184 дня соответственно (рис. 4, б)¹⁵. Полученные результаты свидетельствуют, что погодно-климатические характеристики оказывают одинаковую силу влияния в виде потерь ОПЖ на субъекты с различным санитарно-эпидемиологическим состоянием и сопоставимы со среднероссийским уровнем.

Выполненный предварительный анализ позволил выявить сочетанное эмерджентное и вариативное влияние погодно-климатических условий и социально-экономических детерминант, требующее изучения и оценки на более глубоком уровне. На основании результатов настоящего исследования можно лишь говорить о возможных взаимно усиливающих или взаимно ослабляющих эффектах, которые необходимо учитывать при планировании и реализации программ по улучшению социально-демографической ситуации на территориях РФ с учетом региональной дифференциации.

Учитывая неуправляемость со стороны человека погодно-климатического фактора, ограниченную возможность адаптации к нему, а также значимый вклад в изменение показателя ОПЖ, данный фактор требует особого внимания и учета при реализации программ по улучшению социально-демографической ситуации на территориях РФ.

Выводы. На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. За последние десятилетия зафиксированы климатические изменения на многих территориях Российской Федерации, особенно в арктических и субарктических зонах, а также в восточной части России,

¹⁵ Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Раздел 6. Воздействия изменения климата на хозяйственные объекты и здоровье населения. Меры адаптации к этим воздействиям. – М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2014.

при этом скорость изменения климатических характеристик по последним оценкам выше, чем в среднем по миру в 2,5 раза. Наибольшим изменениям подверглись показатели температуры приземного воздуха и режим выпадения осадков (средние отклонения от среднегодовых температур воздуха за июль за период 2010–2018 гг. составили +1,2 °С, за январь +1,5 °С; аналогичные отклонения осадков в июле составили –1,9 %, в январе +13,0 %).

2. Глобальные процессы, связанные с изменением климата, свидетельствуют о тенденциях в сторону смягчения погодно-климатических условий для большинства регионов РФ, что, в свою очередь, может привести к более комфортным условиям жизни населения и, как следствие, в определенном диапазоне значений, к улучшению состояния здоровья и увеличению ожидаемой продолжительности жизни в данных регионах. Проведенные исследования системы причинно-следственных связей между социально-экономическими, санитарно-эпидемиологическими, погодно-климатическими условиями и ожидаемой продолжительностью жизни определяет необходимость детального изучения разнонаправленных последствий глобального потепления. Результаты данного исследования показывают, что в условиях отсутствия крайне резких климатических колебаний для регионов РФ характерно возрастание ожидаемой продолжительности жизни при увеличении средней температуры: так, по среднероссийским закономерностям повышение среднемесячной температуры в июле обеспечивает увеличение ОПЖ на 8,83 дня, в январе – на 0,64 дня. Данные результаты ограничиваются областью определения модели: в июле от +7,2 °С до +29,2 °С; в январе от минус 39,4 °С до +3,5 °С; и не учитывают экстремальных изменений погодно-климатических факторов.

3. Большая часть населения РФ проживает в неоптимальных климатических зонах, что обуславливает потери ожидаемой продолжительности жизни, ассоциированные с погодно-климатическими факторами. Выполненные оценки показали, что в среднем по Российской Федерации величина климатоассоциированных потерь ОПЖ составляет минус 191,7 дня, при этом вариативность региональных потерь находится в диапазоне от минус 4 дня (в Республике Калмыкия) до минус 349 дней (в Чукотском автономном округе).

Основными факторами, формирующими потери ОПЖ, являются социально-экономические условия, которые занимают первые 15 мест ранжированного списка показателей. Наиболее значимое среди

погодно-климатических факторов влияние оказывает среднемесячная температура воздуха в июле, с которой ассоциировано в среднем по РФ порядка 76 % потерь ОПЖ.

4. Сравнительный анализ потерь ОПЖ, обусловленных эмерджентностью влияния погодно-климатического фактора в разрезе климатических зон, выявил, что климатоассоциированные потери ОПЖ в субъектах, территориально расположенных в горных областях Северного Кавказа, достоверно ниже, чем в субъектах, расположенных в умеренной зоне с атлантико-континентальным и континентальным типами климата (в 1,6 и 1,8 раза соответственно). Так, в зонах умеренного климата, в которых проживает большинство населения РФ (84,9 %) потери ОПЖ варьировались от минус 283 до минус 4 дня и были обусловлены в среднем большим количеством осадков в январе (38,4 мм; РФ – 35,7 мм) и отклонениями от среднегодовой нормы температуры (1,6 °С; РФ – 1,5 °С) и осадков (115,0 мм; РФ – 113,4 мм) в январе. В зонах с климатом горных областей Северного Кавказа, где проживает 4,5 % населения РФ, потери ОПЖ колебались от минус 175 до минус 46 дней и были детерминированы в среднем сравнительно более высокой температурой января (–1,87 °С; РФ – минус 12,0 °С) и июля (+22,9 °С; РФ – +19,2 °С), а также меньшим количеством осадков в январе (26,9 мм; РФ – 35,7 мм).

5. В результате проведения исследования обнаружены эффекты сочетанного воздействия погодно-климатических и социально-экономических факторов, требующих более детального рассмотрения в последующих работах.

6. Реализация национальных и региональных программ по увеличению ожидаемой продолжительности жизни крайне важна для улучшения демографической ситуации в стране, в связи с этим учет влияния, в том числе неуправляемых факторов, в частности погодно-климатических, является важным элементом в достижении целевых показателей данных программ.

В дальнейшем авторы планируют продолжить исследования в области изучения совокупного, долевого и взаимного влияния погодно-климатических, социально-экономических и санитарно-эпидемиологических детерминант на показатели здоровья населения РФ.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Изменение климата [Электронный ресурс] // Организация объединенных наций (ООН). – 2020. – URL: <https://www.un.org/ru/sections/issues-depth/climate-change/index.html> (дата обращения: 30.09.2020).
2. Global Warming of 1.5°C [Электронный ресурс] // Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). – 2018. – URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/> (дата обращения: 30.09.2020).

3. Кузьмин В. Россия стала полноправным участником Парижского соглашения по климату [Электронный ресурс] // Российская газета. – 2019. – URL: <https://rg.ru/2019/09/23/rossiia-stala-polnopravnym-uchastnikom-parizhskogo-soglasheniia-po-klimatu.html> (дата обращения: 30.09.2020).
4. Изменение климата и здоровье [Электронный ресурс] // Всемирная организация здравоохранения. – 2018. – URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health> (дата обращения: 30.09.2020).
5. Climate change: challenges and opportunities for global health / J.A. Patz, H. Frumkin, T. Holloway, D.J. Vimont, A. Haines // JAMA. – 2014. – Vol. 312, № 15. – P. 1565–1580. DOI: 10.1001/jama.2014.13186
6. Achebak H., Devolder D., Ballester J. Trends in temperature-related age-specific and sex-specific mortality from cardiovascular diseases in Spain: a national time-series analysis // Lancet Planet Health. – 2019. – Vol. 3, № 7. – P. e297–306. DOI: 10.1016/S2542-5196 (19) 30090-7
7. Medina-Ramon M., Schwartz J. Temperature, temperature extremes, and mortality: a study of acclimatization and effect modification in 50 US cities // Occupational and Environmental Medicine. – 2007. – Vol. 64, № 12. – P. 827–833. DOI: 10.1136/oem.2007.033175
8. Mortality effects of heat waves vary by age and area: a multi-area study in China / L. Zhang, T. Ye, M. Zhou, C. Wang, P. Yin, B. Hou // Environmental Health. – 2018. – Vol. 17, № 1. – P. 54. DOI: 10.1186/s12940-018-0398-6
9. Temporal variation in associations between temperature and years of life lost in a southern China city with typical subtropical climate / G. Li, J. Huang, G. Xu, X. Pan, X. Qian, J. Xu, Y. Zhao, T. Zhang [et al.] // Scientific Reports. – 2017. – Vol. 7, № 1. – P. 4650. DOI: 10.1038/s41598-017-04945-6
10. The impact of cold and heat on years of life lost in a northwestern Chinese city with temperate continental climate / J. Liu, Y. Ma, Y. Wang, S. Li, S. Liu, X. He, L. Li, L. Guo [et al.] // Environmental Research and Public Health. – 2019. – Vol. 16, № 19. – P. 3529. DOI: 10.3390/ijerph16193529
11. Doherty R.M., Heal M.R. O'Connor F.M. Climate change impacts on human health over Europe through its effect on air quality // Environmental Health. – 2017. – Vol. 16, № 1. – P. 118. DOI: 10.1186/s12940-017-0325-2
12. Orru H., Ebi K. L., Forsberg B. The interplay of climate change and air pollution on health // Current environmental health reports. – 2017. – Vol. 4, № 4. – P. 504–513. DOI: 10.1007/s40572-017-0168-6
13. Finch C.E., Beltran-Sanchez H., Crimmins E.M. Uneven futures of human lifespans: Reckonings from Gompertz mortality rates, climate change, and air pollution // Gerontology. – 2014. – Vol. 60, № 2. – P. 183–188. DOI: 10.1159/000357672
14. Future ozone-related acute excess mortality under climate and population change scenarios in China: A modeling study / K. Chen, A.M. Fiore, R. Chen, L. Jiang, B. Jones, A. Schneider, A. Peters, J. Bi, H. Kan, P.L. Kinney // PLOS Medicine. – 2018. – Vol. 15, № 7. – P. e1002598. DOI: 10.1371/journal.pmed.1002598
15. Hauer M.E., Santos-Lozada A.R. Inaction on climate change projected to reduce European life expectancy // Population research and policy review. – 2019. – № 13. – P. 14. DOI: 10.1007/s11113-020-09584-w
16. Ревич Б.А., Шапошников Д.А. Особенности воздействия волн холода и жары на смертность в городах с резко-континентальным климатом // Сибирское медицинское обозрение. – 2017. – Т. 104, № 2. – С. 84–90. DOI: 10.20333/2500136-2017-2-84-90
17. Волны жары и холода в городах, расположенных в арктической и субарктической зонах как факторы риска повышения смертности населения на примере Архангельска, Мурманска и Якутска / Б.А. Ревич, Д.А. Шапошников, О.А. Анисимов, М.А. Белолуцкая // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 9. – С. 791–798. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-9-791-798
18. Риски и выгоды для Российской Федерации от глобального изменения климата [Электронный ресурс] // Росгидромет. – 2014. – URL: <http://www.meteorf.ru/special/press/releases/8435/> (дата обращения: 30.09.2020).
19. Слюсарь К.С. Особенности протекания демографических процессов в Алтайском крае // Актуальные вопросы функционирования экономики Алтайского края. – 2010. – № 2. – С. 64–74.
20. Кваша Е.А., Харьков Т.Л. Региональные особенности смертности в России в начале XXI века с позиций незавершенности эпидемиологического перехода // Вопросы статистики. – 2010. – № 7. – С. 29–41.

Эмерджентность и вариативность влияния погодно-климатических факторов на ожидаемую продолжительность жизни населения Российской Федерации с учетом дифференциации регионов по социально-экономическим и санитарно-эпидемиологическим детерминантам / Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, Д.А. Кирьянов, М.В. Глухих, М.Р. Камалдинов // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 4. – С. 62–75. DOI: 10.21668/health.risk/2020.4.07

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

N.V. Zaitseva¹, S.V. Kleyn¹, D.A. Kiryanov^{1,2}, M.V. Glukhikh¹, M.R. Kamaltdinov¹

¹Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies,
82 Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russian Federation

²Perm State National University, 15 Bukireva Str., Perm, 614990, Russian Federation

The present research focuses on estimating influence exerted by weather and climatic factors on life expectancy (LE) in the Russian Federation taking into account socioeconomic and sanitary-epidemiologic determinants. To estimate influence exerted by this factor on LE, a mathematic model was applied; the model was based on neuron networks and allowed taking into account emergence and variability of influence exerted on changes in LE by a set of heterogeneous factors including weather and climatic ones.

It was established that over 2010–2018 climate changed in most RF regions as there was a growth in average monthly temperatures (temperature deviated from its long-term average monthly values by +1.2 °C in July, and by +1.5 °C in January), and changes in precipitations (deviations amounted to -1.9% in July and +13.0 % in January). It was established that «average monthly temperature in July» exerted the greatest direct influence on LE; thus, if this parameter grows by 1 %, it results in additional 1.7 days of LE.

«Average precipitations quantity in January» turned out to be the most significant factor leading to a decrease in LE; a 1 % growth in this parameter resulted in LE decrease by 0.12 days. It was shown that mathematical expectancy of LE loss variability in RF regions obtained basing on 85 scenarios of weather and climatic conditions ranged from -4.2 days to 348.7 days. Overall in the RF climate-associated losses in LE taken as weighted average as per population number amounted to 191.7 days. It was established that climate-associated losses in LE were authentically lower in North Caucasian regions than in regions located in temperate zone with Atlantic-continental and continental climate (by 1.6 and 1.8 times accordingly). We also comparatively analyzed losses in LE due to influence exerted by climate in RF regions distributed into different groups (clusters) as per socioeconomic parameters; the analysis revealed authentic differences between the second and the fourth cluster ($p=0.01$), and between the third and the fourth ones ($p=0.006$). We didn't reveal any authentic differences in climate-associated losses in LE among clusters as per sanitary-epidemiologic parameters.

Key words: life expectancy, climate, weather-climatic factor, global climatic change, artificial neuron networks, factor analysis, RF population, demographic policy in the RF.

© Zaitseva N.V., Kleyn S.V., Kiryanov D.A., Glukhikh M.V., Kamaltdinov M.R., 2020

Nina V. Zaitseva – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific Director (e-mail: znv@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-25-34; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

Svetlana V. Kleyn – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department for Systemic Procedures of Sanitary-Hygienic Analysis and Monitoring (e-mail: kleyn@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>).

Dmitrii A. Kiryanov – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department for Mathematical Modeling of Systems and Processes; Associate Professor at Department for Human Ecology and Life Safety (e-mail: kda@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5406-4961>).

Maksim V. Glukhikh – Post-graduate student, Junior researcher (e-mail: gluhih@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4755-8306>).

Marat R. Kamaltdinov – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior researcher acting as the Head of the Department for Situation Modeling and Expert and Analytical Management Techniques Laboratory (e-mail: kmr@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0969-9252>).

References

1. Climate Change. *United Nations*, 2020. Available at: <https://www.un.org/ru/sections/issues-depth/climate-change/index.html> (30.09.2020) (in Russian).
2. Global Warming of 1.5°C. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, 2018. Available at: <https://www.ipcc.ch/sr15/> (30.09.2020).
3. Kuz'min V. Rossiya stala polnopravnym uchastnikom Parizhskogo soglasheniya po klimatu [Russia has become a full-fledged member of Paris climate agreement]. *Rossiiskaya gazeta*, 2019. Available at: <https://rg.ru/2019/09/23/rossiya-stala-polnopravnym-uchastnikom-parizhskogo-soglasheniya-po-klimatu.html> (30.09.2020) (in Russian).
4. Climate change and health. *World health organization*, 2018. Available at: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health> (30.09.2020) (in Russian).
5. Patz J.A., Frumkin H., Holloway T., Vimont D.J., Haines A. Climate change: challenges and opportunities for global health. *JAMA*, 2014, vol. 312, no. 15, pp. 1565–1580. DOI: 10.1001/jama.2014.13186
6. Achebak H., Devolder D., Ballester J. Trends in temperature-related age-specific and sex-specific mortality from cardiovascular diseases in Spain: a national time-series analysis. *Lancet Planet Health*, 2019, vol. 3, no. 7, pp. e297–306. DOI: 10.1016/S2542-5196(19)30090-7
7. Medina-Ramon M., Schwartz J. Temperature, temperature extremes, and mortality: a study of acclimatization and effect modification in 50 US cities. *Occupational and Environmental Medicine*, 2007, vol. 64, no. 12, pp. 827–833. DOI: 10.1136/oem.2007.033175
8. Zhang L., Ye T., Zhou M., Wang C., Yin P., Hou B. Mortality effects of heat waves vary by age and area: a multi-area study in China. *Environmental Health*, 2018, vol. 17, no. 1, pp. 54. DOI: 10.1186/s12940-018-0398-6
9. Li G., Huang J., Xu G., Pan X., Qian X., Xu J., Zhao Y., Zhang T. [et al.]. Temporal variation in associations between temperature and years of life lost in a southern China city with typical subtropical climate. *Scientific Reports*, 2017, vol. 7, no. 1, pp. 4650. DOI: 10.1038/s41598-017-04945-6
10. Liu J., Ma Y., Wang Y., Li S., Liu S., He X., Li L., Guo L. [et al.]. The impact of cold and heat on years of life lost in a northwestern Chinese city with temperate continental climate. *Environmental Research and Public Health*, 2019, vol. 16, no. 19, pp. 3529. DOI: 10.3390/ijerph16193529
11. Doherty R.M., Heal M.R., O'Connor F.M. Climate change impacts on human health over Europe through its effect on air quality. *Environmental Health*, 2017, vol. 16, no. 1, pp. 118. DOI: 10.1186/s12940-017-0325-2
12. Orru H., Ebi K. L., Forsberg B. The interplay of climate change and air pollution on health. *Current environmental health reports*, 2017, vol. 4, no. 4, pp. 504–513. DOI: 10.1007/s40572-017-0168-6
13. Finch C.E., Beltran-Sanchez H., Crimmins E.M. Uneven futures of human lifespans: Reckonings from Gompertz mortality rates, climate change, and air pollution. *Gerontology*, 2014, vol. 60, no. 2, pp. 183–188. DOI: 10.1159/000357672
14. Chen K., Fiore A.M., Chen R., Jiang L., Jones B., Schneider A., Peters A., Bi J., Kan H., P.L. Kinney Future ozone-related acute excess mortality under climate and population change scenarios in China: A modeling study. *PLOS Medicine*, 2018, vol. 15, no. 7, pp. e1002598. DOI: 10.1371/journal.pmed.1002598
15. Hauer M.E., Santos-Lozada A.R. Inaction on climate change projected to reduce European life expectancy. *Population research and policy review*, 2019, no. 13, pp. 14. DOI: 10.1007/s11113-020-09584-w
16. Revich B.A., Shaposhnikov D.A. Influence features of cold and heat waves to the population mortality – the city with sharply continental climate *Sibirskoe meditsinskoe obozrenie*, 2017, vol. 104, no. 2, pp. 84–90 (in Russian). DOI: 10.20333/2500136-2017-2-84-90
17. Revich B.A., Shaposhnikov D.A., Anisimov O.A., Belolutskaia M.A. Heat waves and cold spells in three arctic and subarctic cities as mortality risk factors. *Gigiena i sanitariya*, 2018, vol. 97, no. 9, pp. 791–798 (in Russian). DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-9-791-798
18. Riski i vygody dlya Rossiiskoi Federatsii ot global'nogo izmeneniya klimata [Global climatic change: risks and benefits for the Russian Federation]. *Rosgidromet*, 2014. Available at: <http://www.meteorf.ru/special/press/releases/8435/> (30.09.2020) (in Russian).
19. Slyusar' K.S. Osobennosti protekaniya demograficheskikh protsessov v Altaiskom krae [Peculiarities of demographic processes in Altai region]. *Aktual'nye voprosy funktsionirovaniya ekonomiki Altaiskogo kraia*, 2010, no. 2, pp. 64–74 (in Russian).
20. Kvasha E.A., Khar'kova T.L. Regional peculiarities of mortality in Russia at the beginning of XXI century from the standpoint of incompleteness of epidemiological transition. *Voprosy statistiki*, 2010, no. 7, pp. 29–41 (in Russian).

Zaitseva N.V., Kleyn S.V., Kiryanov D.A., Glukhikh M.V., 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 regions as per socioeconomic and sanitary-epidemiologic determinants. *Health Risk Analysis*, 2020, no. 4, pp. 62–75. DOI: 10.21668/health.risk/2020.4.07.eng

Получена: 02.09.2020

Принята: 03.12.2020

Опубликована: 30.12.2020