

ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА: АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РИСКА ЗДОРОВЬЮ

УДК 613; 614
DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.01



Научная статья

ПРОГНОЗ ПОТЕНЦИАЛА РОСТА ОЖИДАЕМОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ СЦЕНАРНОГО ИЗМЕНЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ДЕТЕРМИНАНТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Н.В. Зайцева¹, С.В. Клейн^{1,3}, М.В. Глухих¹, Д.А. Кирьянов^{1,2}, 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

³Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера, Россия, 614000, г. Пермь, ул. Петропавловская, 26

Представлены результаты прогноза потенциала роста ожидаемой продолжительности жизни (ОПЖ) населения РФ на основе сценарного изменения социально-гигиенических детерминант (СГД) с использованием искусственной нейронной сети (ИНС). Актуальность исследования обусловлена текущей социальной политикой в области улучшения медико-демографической ситуации на территории РФ, предполагающей достижение целевых значений показателей национальных и федеральных проектов. Получена оптимальная структура ИНС, базирующаяся на четырехслойном персептроне с двумя внутренними слоями, содержащими по 8 и 3 нейрона соответственно, позволяющая получать результаты при наибольшем коэффициенте детерминации ($R^2 = 0,78$). Различия между фактическими значениями показателя ОПЖ и прогнозными значениями, полученными по модели, составили не более 1,1 % (или 0,8 г.). Установлено, что при условии восстановления в ближайшее время демографической ситуации и значения ОПЖ до уровня 2018–2019 гг. и полного достижения значений СГД согласно установленному целевому сценарию (к 2024 г.) значение ОПЖ в среднем по РФ составит 75,06 г., потенциал роста относительно 2018 г. составит 3,0 г. (1095 дней). Наибольший эффект на потенциал роста ОПЖ к 2024 г. оказывают «Показатели образа жизни» (461 день). Установлены эффекты влияния таких групп СГД, как: «Показатели санитарно-эпидемиологического благополучия территорий» (212 дней), «Показатели социально-демографической сферы» (196 дней), «Показатели экономической сферы» (131 день), «Показатели системы здравоохранения» (70 дней). Наиболее значимой детерминантой, оказавшей наибольший эффект на потенциал изменения ОПЖ, являясь показателем, характеризующий «Долю населения, занимающегося физической культурой и спортом»: в случае его увеличения до 55,0 % потенциал роста ОПЖ составит 243,5 дня. Прогнозирование изменения демографической ситуации к 2030 г. при регистрируемых в настоящее время тенденциях без учета COVID-обусловленных процессов предполагает возможность дополнительного к 3 годам роста ОПЖ на 286 дней. Разработанный алгоритм определения потенциала роста ОПЖ населения может использоваться в качестве инструмента определения и ранжирования приоритетных факторов риска здоровью населения.

Ключевые слова: ожидаемая продолжительность жизни, социально-гигиенические детерминанты, искусственные нейронные сети, факторный анализ, прогнозирование медико-демографической ситуации, потенциал роста, национальные проекты, образ жизни, санитарно-эпидемиологическое благополучие.

© Зайцева Н.В., Клейн С.В., Глухих М.В., Кирьянов Д.А., Камалтдинов М.Р., 2022

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 – профессор РАН, доктор медицинских наук, доцент, 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>).

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

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>).

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>).

В основных положениях «Единого плана по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года»¹ подчеркивается, что достижение данных целей носит «межпроектный» характер, требующий комплексного (системного) подхода к реализации обозначенных в документе мероприятий. Декларируется, что повышение ожидаемой продолжительности жизни при рождении (ОПЖ) как «важнейшего индикатора качества жизни людей» является необходимым условием для обеспечения естественного прироста населения, приобретая особую актуальность в условиях постковидной санкционной экономики. Одним из центральных (приоритетных) направлений по улучшению медико-демографической ситуации обозначено «... значительное снижение уровня смертности в возрастных категориях – населения в трудоспособном возрасте, старше трудоспособного возраста ...» путем развития профилактического направления по основным причинам смертности населения РФ (болезни системы кровообращения, новообразования, внешние причины). Параллельно с этим, признавая, что данная «... проблема не решается исключительно медицинскими методами ...», а кроме того требует «... обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения ...», предполагается «... способствование мерам, направленным на увеличение доли граждан, ведущих здоровый образ жизни ...». В качестве ключевых инструментов данного направления указываются национальные проекты «Здравоохранение», «Демография», «Экология», а также государственные программы «Развитие здравоохранения», «Развитие физической культуры и спорта», «Охрана окружающей среды» и прочие. Очевиден комплексный (системный) характер текущей проектной деятельности государственных органов власти в области улучшения социальной политики и медико-демографической ситуации.

Выбор показателя ОПЖ в качестве индикаторного показателя прогнозируемой медико-демографической ситуации является адекватным решением в рамках многостороннего улучшения основных сфер жизнедеятельности населения ввиду его относительной простоты расчета, прямой связи с показателями повозрастной смертности населения от всех причин, сопоставимости на межстрановом уровне по причине его использования во множестве исследований, касающихся оценки качества жизни населения [1–4]. Кроме того, вопросы повышения показателя ОПЖ часто рассматриваются в докладах международных организаций [5–9].

В научной литературе представлен ряд подходов по оценке влияния факторов среды обитания на показатель ОПЖ с учетом смертности населения,

таких как: построение классических таблиц смертности [10, 11]; оценка элиминированных резервов [12]; компонентный анализ смертности [13, 14]; метод оценки нагрузки смертности на ОПЖ населения [15]. Также распространен эконометрический анализ влияния ограниченного количества факторов (чаще экономической природы) с построением корреляционно-регрессионных моделей взаимосвязи между ОПЖ и факторами среды обитания с использованием методов иерархии и кластеризации субъектов РФ, а также при межстрановой оценке [16–20].

Наряду с данными методами ввиду все большего увеличения количества разнородной анализируемой признаковой информации, характеризующей объект исследования (популяционное здоровье), повышается перспективность методов многомерного статистического анализа (множественные регрессии, факторный анализ, нейронные сети и т.д.) и их комбинаций. Так, в работе Ю.А. Григорьева и О.И. Баран использовалась совокупность статистических методов обработки информации (метод главных компонент, регрессионный анализ, факторный анализ) с учетом лаговых воздействий фактора на смертность населения [21].

Наиболее заметным проектом в данной области среди западных исследователей является исследование глобального бремени болезней (The Global Burden of Disease). Исследование проводится на постоянной основе консорциумом исследователей из разных стран с оценкой динамики смертности и, самое главное, установлением причинности возникновения негативных тенденций от воздействия приоритетных факторов риска. Совокупность проанализированных данных составляет свыше 1 млрд единиц наблюдений. Анализ подобного объема статистической информации обеспечивался использованием инновационных методов байесовского статистического моделирования на основе значительных вычислительных мощностей. Для решения данных задач применялся аналитический инструмент CODEm (the Cause of Death Ensemble model), или ансамблевая модель причин смерти, полученная при помощи ряда математико-статистических методов с наилучшими характеристиками прогностической достоверности и биологического правдоподобия зависимости смертности от рассматриваемых ковариат [22].

Некоторые исследователи придерживаются точки зрения, что здоровье населения должно рассматриваться как комплексная адаптивная система с многочисленными динамическими нелинейными взаимодействиями между подсистемами и детерминантами различного происхождения. При этом отмечается, что взаимодействие между детерминанта-

¹ Единый план по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года / утв. распоряжением Правительства РФ от 01.10.2021 № 2765-р (с изм. от 24.12.2021) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_398015/ (дата обращения: 05.04.2022).

ми имеет контекстуальный характер на определенном отрезке времени, и их анализ должен быть многоуровневым и многомасштабным, а последующие за ним управленческие решения – комплексными [23, 24].

Академик РАМН Ю.П. Лисицын утверждал, что общественное (популяционное) здоровье – это сложная, развивающаяся, динамичная система, требующая системного подхода и анализа при проведении исследований в данной области². Необходимость междисциплинарного подхода к проблематике популяционного здоровья (жизнеспособности нации) подчеркивал академик РАМН Б.Т. Величковский, постулируя о потребности в такой интегральной науке, как социальная биология человека [25]. Социально-экономические факторы, формирующие «социальный стресс», Б.Т. Величковский ставил в один ряд с другими факторами, в том числе гигиенического характера. Он указывал на то, что установление связи между факторами социально-экономической природы и нарушениями здоровья является одним из информационно-аналитических блоков системы социально-гигиенического мониторинга, обозначая исследования в данной области как актуальные для гигиенической науки [26, 27].

В настоящее время увеличивается количество исследований, в том числе в биомедицинской области, основанных на использовании искусственных нейронных сетей (ИНС; artificial neural network – ANN). Выявлено, что данный метод чаще показывает лучшие прогностические возможности в сравнении с логистическими регрессионными моделями [28–31]. В медицине спектр применения ИНС достаточно широк и охватывает такие сферы медицинской деятельности, как: постановка диагноза, выбор тактики лечения, маршрутизация пациентов, подготовка и проведение исследований и другие задачи [32–38].

Вместе с тем в отечественных и зарубежных научных публикациях в области изучения медико-демографических проблем и поиска их причин методы прогнозирования ожидаемой продолжительности жизни, учитывающие множественность и вариативность влияния факторов среды обитания и образа жизни на ОПЖ, недостаточно представлены. Не так широко освещены в научной литературе верифицированные оценки в системах связи «факторы среды обитания – ожидаемая продолжительность жизни»,

«факторы среды обитания – смертность – ожидаемая продолжительность жизни». Актуальным является уточнение и дополнение известных факторов риска, оказывающих влияние на популяционное здоровье населения, и степени их влияния.

Таким образом, актуальность настоящего исследования обосновывается текущей направленностью политики государства на улучшение медико-демографической ситуации с целеполаганием на достижение определенных уровней индикаторных показателей (ОПЖ), а также развитием направления биомедицинских исследований по изучению множественности влияния факторов среды обитания на популяционное здоровье с использованием современных статистических методов, в том числе искусственных нейронных сетей.

Цель исследования – количественный прогноз влияния комплекса социально-гигиенических детерминант на ожидаемую продолжительность жизни населения РФ на основе нейросетевой модели.

Материалы и методы. Проведен анализ отечественной и зарубежной научной литературы по теме исследования (влияние факторов среды обитания и образа жизни на показатели популяционного здоровья). По результатам данного анализа сформирован банк актуальных моделей причинно-следственных связей между обширным перечнем факторов среды обитания и показателями популяционного здоровья.

На основе релевантных научных данных о причинно-следственных связях между факторами среды обитания и общественным здоровьем сформирован перечень из 148 показателей на основе данных официальной государственной статистики за период 2010–2018 гг. по всем субъектам РФ. Источниками данных являлись статистические формы и сборники Роспотребнадзора³, Минздрава РФ⁴, Росстата⁵. Сформирована матрица данных по группам исследуемых показателей, которые включали в себя: показатели санитарно-эпидемиологического благополучия населения (53 показателя), показатели образа жизни (30), экономические показатели (14), показатели системы здравоохранения (9), социально-демографические показатели (34), погодноклиматические показатели (8). Группировка показателей носила условный характер и применялась для оценки эффекта от соответствующих групп факторов с возможностью их сравнения между собой.

² Лисицын Ю.П. Общественное здоровье и здравоохранение: учебник. – 2-е изд. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 512 с.

³ Об утверждении статистического инструментария для организации Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека федерального статистического наблюдения за санитарным состоянием субъекта Российской Федерации: Приказ Росстата от 29.12.2017 № 885 (утратил силу с отчета за 2019 год на основании приказа Росстата от 24 декабря 2019 года № 800) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/556189703> (дата обращения: 07.04.2022).

⁴ Медико-демографические показатели Российской Федерации в 2018 году: стат. справочник // Минздрав России. – М., 2019. – 253 с.

⁵ Регионы России. Социально-экономические показатели. 2018: стат. сб. // Росстат. – М., 2018. – 1162 с.

Для цели прогнозирования показателя ОПЖ с установлением количественных эффектов влияния комплекса социально-гигиенических детерминант (СГД) на ОПЖ и его потенциал роста использовалось построение математической модели, отражающей систему причинно-следственных связей между анализируемыми показателями, характеризующими СГД, и показателем ОПЖ. Математическая модель состояла из подмодели факторного преобразования системы независимых переменных в общие факторы и искусственной нейронной сети (ИНС).

Подмодель факторного преобразования построена с использованием метода факторного анализа и применялась для снижения размерности системы входных данных, подающихся на входной слой нейронной сети.

Факторное преобразование, полученное в результате исследования системы причинно-следственных связей между показателями, характеризующими СГД и погодно-климатические условия, позволило перейти от системы взаимосвязанных показателей (148 СГД) к попарно независимым общим факторам (в построенной модели их 33).

Подмодель факторного преобразования представляет собой систему линейных алгебраических уравнений, которые в матричной форме имеют вид соотношения (1):

$$Y = A\tilde{X}, \quad (1)$$

где $\tilde{X} = \{\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_J\}^T$ – вектор-столбец стандартизованных значений независимых переменных, $I = 148$;

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_J\}^T$ – вектор-столбец общих факторов, $J = 33$;

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1J} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2J} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{I1} & a_{I2} & \dots & a_{IJ} \end{bmatrix} \text{ – матрица факторных}$$

меток факторного анализа.

В форме компонент выражение (1) записывается в следующем виде (2):

$$y_j = \sum_{i=1}^I a_{ij} \tilde{x}_i. \quad (2)$$

Стандартизация системы независимых переменных выполнялась по соотношению (3):

$$\tilde{x}_i = \frac{x_i - \bar{x}_i}{\sigma_i}, \quad (3)$$

где x_i – значение i -й переменной; \bar{x}_i , σ_i – среднее и стандартное отклонение i -й переменной по выборочным данным.

В ходе обучения ИНС, проведенного на матрице исходных данных, была определена оптимальная структура ИНС, соответствующая четырехслой-

ному персептрону с двумя внутренними слоями, содержащими по 8 и 3 нейрона соответственно с коэффициентом детерминации 0,78 (рис. 1).

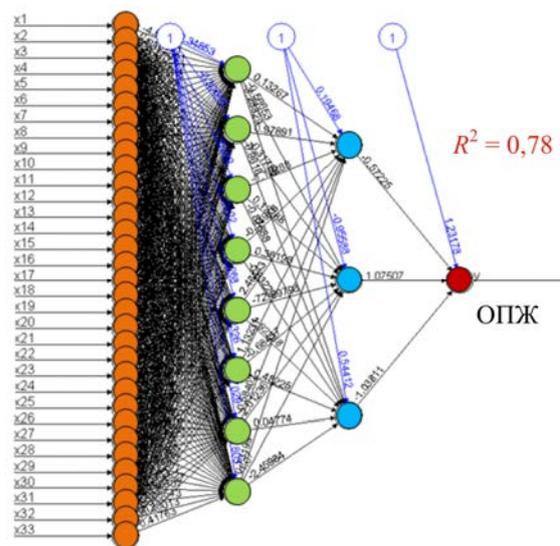


Рис. 1. Структура четырехслойного персептрона с двумя внутренними слоями по 8 и 3 нейрона соответственно

Расчет прогнозных уровней показателя ОПЖ осуществлялся путем выполнения последовательно ряда математических операций.

Нормирование значений общих факторов, подаваемых на вход ИНС (после проведения процедуры факторного преобразования значений независимых переменных), выполнялось по формуле (4):

$$\tilde{y}_j = \frac{y_j - y_j^{\min}}{y_j^{\max} - y_j^{\min}}, \quad (4)$$

где \tilde{y}_j – нормированное значение j -го общего фактора;

y_j^{\min} , y_j^{\max} – минимальное и максимальное значения j -го общего фактора, полученные по результатам факторного преобразования исходной системы показателей.

Расчет входных сигналов в первый внутренний слой нейронов, состоящий из 8 нейронов, проводился по формуле (5):

$$F_{in1k} = b_{0k} + \sum_{j=1}^{33} b_{jk} \tilde{y}_j, \quad k = \overline{1,8}, \quad (5)$$

где F_{in1k} – входные сигналы в k -й нейрон первого внутреннего слоя;

b_{0k} , b_{jk} – коэффициенты нейросетевой модели для первого слоя нейронов.

Расчет значений выходных сигналов из первого внутреннего слоя нейронов проводился по формуле (6):

$$F_{out1k} = \frac{1}{1 + e^{-F_{in1k}}}, \quad k = \overline{1,8}, \quad (6)$$

где F_{out1k} – значение выходных сигналов из k -го нейрона первого внутреннего слоя.

Расчет входных сигналов во второй внутренний слой нейронов, состоящий из 3 нейронов, проводился по формуле (7):

$$F_{in2l} = c_{0l} + \sum_{k=1}^8 c_{kl} F_{out1k}, \quad l = \overline{1,3}, \quad (7)$$

где F_{in2l} – входные сигналы в l -й нейрон второго внутреннего слоя; c_{0l} , c_{kl} – коэффициенты нейросетевой модели для второго слоя нейронов.

Расчет значений выходных сигналов из второго внутреннего слоя нейронов производился по формуле (8):

$$F_{out2l} = \frac{1}{1 + e^{-F_{in2l}}}, \quad l = \overline{1,3}, \quad (8)$$

где F_{out2l} – значение выходных сигналов из l -го нейрона второго внутреннего слоя.

Расчет модельных нормированных значений ожидаемой продолжительности жизни проводился по формуле (9):

$$\tilde{z} = d_0 + \sum_{l=1}^3 d_l F_{out2l}, \quad (9)$$

где \tilde{z} – модельное нормализованное значение ОПЖ; d_0 , d_l – коэффициенты нейросетевой модели для расчета нормированного значения ОПЖ (значений выходного слоя).

Расчет модельного значения ОПЖ проводился по формуле (10):

$$z = \text{ОПЖ} = \tilde{z}(z_{\max} - z_{\min}) + z_{\min}, \quad (10)$$

где $z = \text{ОПЖ}$ – модельное значение ОПЖ.

Для установления количественного прогноза влияния комплекса СГД на ОПЖ населения РФ на основе ИНС использовался поэтапный алгоритм, включающий в себя:

– этап 1. Формирование базового и целевого сценариев изменения показателей, характеризующих СГД;

– этап 2. Выполнение расчетов по ИНС прогнозных значений ОПЖ согласно базовому и целевому сценариям;

– этап 3. Расчет потенциала роста ОПЖ населения.

Сценарные значения показателей СГД (независимых переменных) для базового сценария задавались согласно имеющимся фактическим значениям анализируемых показателей за 2018 г., полученным из официальных статистических источников. Для целевого сценария значения СГД задавались согласно целевым значениям показателей национальных и федеральных проектов, расчетным (прогнозным) значе-

ниям показателей по линейным / логарифмическим трендам. Выбор целевого значения показателей между линейным и логарифмическим трендом осуществлялся с применением в качестве критерия наибольшего значения коэффициента детерминации (R^2).

Так, в рамках настоящего исследования по 10 показателям установлены целевые значения СГД согласно целевым показателям национальных и федеральных проектов; 103 показателя изменены согласно трендам их изменения к 2024 г.; 21 показатель был изменен на 10,0 %⁶ относительно базового сценария с учетом их биологического смысла воздействия на ОПЖ; значения 14 показателей оставлены на базовом уровне ввиду невозможности адекватных и корректных оценок их изменения.

При решении задачи по оценке достижимости актуальных значений показателя ОПЖ, установленных в «Едином плане по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года»¹, дополнительно были получены трендовые изменения анализируемых показателей к 2030 г.

Расчет потенциала роста ОПЖ населения выполняется по разности прогнозных оценок ОПЖ согласно целевому и базовому сценариям (11):

$$\Delta \text{ОПЖ} = z^{\text{Цел}} - z^{\text{Баз}}, \quad (11)$$

где $\Delta \text{ОПЖ}$ – потенциала роста ОПЖ населения; $z^{\text{Цел}}$ – прогнозное значение ОПЖ согласно целевому сценарию; $z^{\text{Баз}}$ – прогнозное значение ОПЖ согласно базовому сценарию.

Для статистической обработки и численных расчетов использовались математические вычислительные пакеты программ по статистическому анализу данных (Statistica 10, RStudio, MS Excel 2010), для визуализации полученных результатов – геоинформационные системы (ArcGis 9.3.1).

Результаты и их обсуждение. Для оценки корректности получаемых согласно разработанному методическому подходу данных выполнена сравнительная оценка фактических и модельных значений ОПЖ. Так, согласно базовому сценарию расчетное значение ожидаемой продолжительности жизни с использованием разработанной математической модели с применением базовых значений 148 детерминант на уровне 2018 г. составило 72,1 г., в то время как фактическое значение ОПЖ в РФ в 2018 г. составило 72,9 г. Различия в модельном и фактическом значениях ОПЖ на 2018 г. составили 0,8 г., или 1,1 %. Сопоставимость расчетного значения ОПЖ при базовом сценарии и фактически регистрируемого значения ОПЖ свидетельствует о корректности оценок разработанной математической модели.

⁶ Использование данного подхода обусловлено тем, что некоторые показатели структурно связаны между собой.

Потенциал изменения ожидаемой продолжительности жизни по группам показателей среды обитания и образа жизни на базе сценарного моделирования к 2024 г.

Группа СГД	Целевой сценарий для одной группы, годы	Потенциал роста ОПЖ, годы (дни)	Ранг
Показатели образа жизни населения	73,32	1,26 (461,2)	1
Показатели санитарно-эпидемиологического благополучия территорий	72,64	0,58 (211,9)	2
Показатели социально-демографической сферы	72,6	0,54 (196,3)	3
Показатели экономической сферы	72,42	0,36 (131,2)	4
Показатели системы здравоохранения	72,25	0,19 (70,0)	5

Сценарное изменение всей совокупности анализируемых значений СГД к 2024 г. в соответствии с подходами, изложенными в разделе «Материалы и методы», показало, что модельное значение ОПЖ составит 75,1 г., таким образом, прогнозируемый потенциал роста ОПЖ в целом для РФ на период 2018–2024 гг. составил 3,0 г. (1095 дней).

Оценка потенциала роста ОПЖ от сценарного изменения каждой условной группы показателей (когда изменялись в соответствии с описанными подходами только показатели одной группы, а значения остальных детерминант оставались на уровне базового сценария) выявили, что наибольшие прогнозные значения потенциала роста ожидаемой продолжительности жизни к 2024 г. имеют «Показатели образа жизни» (+1,3 г., или 461,2 дня) (таблица). Далее в порядке убывания следовали «Показатели санитарно-эпидемиологического благополучия территорий» (+0,58 г., или 211,9 дня), «Показатели социально-демографической сферы» (+0,54 г., или 196,3 дня), «Показатели экономической сферы» (+0,36 г., или 131,2 дня), «Показатели системы здравоохранения» (0,19 г., или 70,0 дня).

Таким образом, в целом по Российской Федерации при условии восстановления в ближайшее время демографической ситуации и значения ОПЖ до уровня 2018–2019 гг. реализация национальных, федеральных проектов и комплексных мероприятий позволит повысить показатель ОПЖ на 3 года, то есть до 75,1 г. В то же время прогнозирование изменения демографической ситуации к 2030 г. при регистрируемых в настоящее время тенденциях без учета COVID-обусловленных процессов отражает возможность дополнительного к 3 годам роста ОПЖ на 0,8 г. (286 дней) (рис. 2).

Последнее свидетельствует о необходимости удержания наметившихся тенденций путем достижения плановых показателей. Вместе с тем для достижения ОПЖ на уровне 78 лет к 2030 г. необходимо обеспечить прирост показателя еще на 2,1 г. Это может быть сопоставимо с дополнительной реализацией крупных проектов типа «Чистый

воздух», «Чистая вода», «Демография» и т.п. Достаточно мощные потенциальные резервы повышения ОПЖ наблюдаются за счет адресных структурированных по значимости мероприятий по формированию принципов здорового образа жизни среди населения, а также при изменении ряда регистрируемых сейчас негативных тенденций (условия труда работающего населения, количество разводов, коэффициенты демографической нагрузки и др.).

Детальное исследование условных групп показателей позволило получить оценки влияния каждого отдельно взятого показателя из всего перечня рассматриваемых детерминант на ОПЖ. Так, в группе показателей, характеризующих образ жизни населения, и в целом из всех показателей наиболее значимый эффект имел показатель «Доля населения, занимающегося физической культурой и спортом» в случае достижения им уровня 55,0 %, обозначенного в качестве целевого согласно федеральному проекту «Спорт – норма

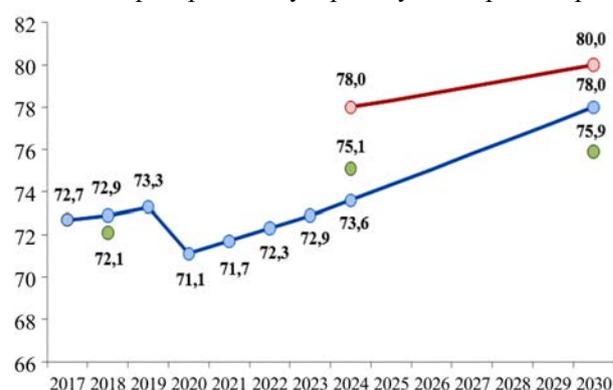


Рис. 2. Целевые и прогнозируемые изменения показателя ОПЖ населения РФ до 2024 и 2030 г.: красной линией обозначены цели достижения уровней ОПЖ согласно Указу Президента № 204 от 07.05.2018⁷; синей – целевые значения показателя ОПЖ согласно «Единому плану по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года»⁸; зеленые точки – модельные значения ОПЖ по ИНС

⁷ О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года: Указ Президента № 204 от 07.05.2018 [Электронный ресурс]. – URL: https://digital.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_1960762.pdf (дата обращения: 11.05.2022).

⁸ Единый план по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года / утв. распоряжением Правительства РФ от 01.10.2021 № 2765-р (с изм. от 24.12.2021) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_398015/ (дата обращения: 05.04.2022).

жизни»⁹: потенциал роста ОПЖ составил 243,5 дня. Рост ОПЖ прогнозируется и при увеличении показателя «Всего спортивных сооружений на 100 тыс. населения»: эффект на ОПЖ составит +18,9 дня. Следующим значимым показателем в данной группе являлось «Потребление овощей и фруктов» – возрастание потребления до рекомендуемых норм¹⁰ потенциально может увеличить ОПЖ населения РФ на 53 и 39 дней соответственно. Также установлено увеличение ОПЖ на 19,5 дня в случае снижения потребления¹¹ этилового спирта, приходящегося на душу взрослого населения, на 24,0 % по данным показателей розничных продаж алкогольной продукции. Изолированное снижение на 24,0 % показателей розничных продаж алкогольной продукции по видам также связано с увеличением ОПЖ: пиво – на 17 дней; водка – на 12 дней; винодельческая продукция – на 11 дней; игристые вина – на 10 дней.

В группе показателей санитарно-эпидемиологического благополучия территорий наибольшее влияние на изменение показателя ОПЖ вносили показатели, характеризующие условия труда работающего населения. При снижении в соответствии с установленными тенденциями удельного веса рабочих, занятых в условиях, не отвечающих гигиеническим нормативам условий труда по таким нормируемым факторам производственной среды, как: биологический фактор (в 1,8 раза), освещенность (в 2,5 раза), напряженность трудового процесса (в 3,3 раза), микроклимат (в 1,2 раза), ожидается увеличение ОПЖ на 37,9; 20,2; 17,5; 8,3 дня соответственно.

Другим санитарно-эпидемиологическим фактором, связанным с изменением показателя ОПЖ, является нормативное качество почвы. При наблюдающихся трендах снижения доли проб почвы, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям (к 2024 г. в 2,7 раза): по содержанию тяжелых металлов (в 2,3 раза), по

микробиологическим показателям (в 1,8 раза), – значения ОПЖ увеличатся на 7,0; 11,6 и 5,5 дня соответственно. Рост ОПЖ ожидается при снижении на 22,0 % валового количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (целевой показатель ФП «Чистый воздух»)¹², отходящих от всех источников в целом и от стационарных в частности. При этом наибольший вклад (3,6 дня) вносит расчетный показатель, характеризующий экологичность (чистоту) экономики, – количество выбросов, приходящихся на валовый региональный продукт (кг/млн рублей). Значимое увеличение ОПЖ ожидается при повышении безопасности пищевой продукции. В случае снижения доли проб пищевой продукции, не соответствующей гигиеническим нормативам по микробиологическим (в 1,2 раза) и санитарно-химическим (до 0 %) показателям, ожидаемый прирост ОПЖ составит по 15 дней. Снижение доли нецентрализованных систем водоснабжения (колодцы, каптажи, родники), не отвечающих санитарно-эпидемиологическим требованиям, на 15,6 % связано с увеличением ОПЖ на 8,9 дня.

Из показателей социально-демографической сферы наиболее значимым являлся показатель «Число зарегистрированных преступлений на 100 тысяч населения», в случае его прогнозируемого снижения с уровня 1428,5 до уровня 1074,0 ожидаемый эффект на ОПЖ составит 24 дня. Увеличение доли населения с высшим образованием независимо от трудового статуса (занятые – до 35,4 %, безработные – до 26,4 %) связано с потенциальным ростом ОПЖ на 9,4 и 20,6 дня соответственно. Увеличение количества отработанных часов в среднем на одного занятого с 38,1 ч (в 2018 г.) до установленной трудовым кодексом¹³ РФ верхней границы нормальной продолжительности рабочего времени (40 ч) окажет эффект на ОПЖ в виде прибавки в 19 дней. Совокупное улучшение благоустройства жилого фонда системами водопровода, водоотведения, отопления

⁹ Паспорт федерального проекта «Создание для всех категорий граждан и групп населения условий для занятий физической культурой и спортом, массовым спортом, в том числе повышение уровня обеспеченности населения объектами спорта, а также подготовка спортивного резерва» – краткое наименование: «Спорт – норма жизни» / утв. проектным комитетом по национальному проекту «Демография», протокол от 29.04.2019 [Электронный ресурс] // Законы, кодексы, нормативные и судебные акты. – URL: https://legalacts.ru/doc/pasport-federalnogo-proekta-sozdanie-dlja-vsekh-kategorii-i-grupp_2/ (дата обращения: 13.05.2021).

¹⁰ Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания: Приказ Министерства здравоохранения РФ от 19 августа 2016 г. № 614 [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовой портал. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71385784/> (дата обращения: 13.05.2021).

¹¹ Паспорт федерального проекта «Формирование системы мотивации граждан к здоровому образу жизни, включая здоровое питание и отказ от вредных привычек» / утв. Минздравом России, протокол от 14.12.2018 № 3 [Электронный ресурс] // Минтруд России. – URL: <https://mintrud.gov.ru/ministry/programms/demography/4> (дата обращения: 13.05.2021).

¹² Паспорт национального проекта «Экология» / утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_316096/45da8841765f8eb5fccc6fdb801897e354873b/ (дата обращения: 13.05.2021).

¹³ Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ / принят Госдумой 21.12.2001. – Статья 91. Понятие рабочего времени. Нормальная продолжительность рабочего времени [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/12125268/> (дата обращения: 11.05.2022).

на 2–4 % от значений 2018 г. способно увеличить показатель ОПЖ на 16,5; 13,1 и 8,6 дня соответственно. Позитивный эффект на ОПЖ оказывает показатель «Доля расходов консолидированных бюджетов на социальную политику» – его прогнозируемый рост с 20,3 до 21,7 % увеличит ОПЖ на 10 дней. Снижение показателя социального неравенства (коэффициент Джини) с 41,3 до 40,3 % взаимосвязано с прибавкой ОПЖ в размере 1,8 дня.

Из группы экономических показателей наиболее значимыми являлись среднедушевые денежные доходы и потребительские расходы – их увеличение до 45 и 35,5 тыс. руб. в месяц связано с потенциальным ростом ОПЖ на 16,4 и 82,5 дня соответственно. Самый высокий уровень дохода, вероятно, связан с большими возможностями улучшения образа жизни, его сдвига в сторону здорового типа. При этом рост потребительских расходов помимо экономических причин (инфляция), вероятно, может быть связан именно с приобретением товаров и услуг лучшего качества, позволяющих поддерживать и улучшать состояние здоровья. В данном исследовании не удалось подтвердить связь между увеличением валового регионального продукта и повышением показателя ОПЖ населения, которую обычно устанавливают исследователи. В большинстве исследований подобная связь устанавливается при помощи линейных моделей (парные / множественные регрессионные), которые могут значительно упрощать и механистически интерпретировать получаемые зависимости. К тому же часто такая связь устанавливается на данных межстранового (национального) уровня с более длительными временными промежутками наблюдения. Настоящее исследование использует модель искусственных нейронных сетей и опирается на данные мезоуровня (региональные) за десять лет, что могло повлиять как на расхождения в результатах, так и выявить особенности и закономерности, характерные для регионов и страны, а также динамически изменяющейся современной ситуации в целом.

В группе показателей, характеризующих систему здравоохранения, наиболее значимым являлся показатель «Численность врачей всех специальностей» и функционально связанный с ним «Нагрузка на работников сферы здравоохранения». Увеличение первого показателя согласно целевым значениям национального проекта «Здравоохранение»¹⁴ дает прибавку к ОПЖ населения РФ в 26,2 дня, соответствующее снижение второго обуславливает прирост ОПЖ на 21,9 дня. Кроме того, было установлено, что снижение «Доли расходов консолидированных бюджетов на здравоохранение» приводит к снижению ОПЖ в среднем по РФ на 4,4 дня. Изолированное увеличение «Мощности амбулаторно-

поликлинических организаций» способно увеличить ОПЖ на 2,9 дня.

В качестве ограничений настоящего исследования следует отметить, что используемая математическая модель описывает сложную систему нелинейных причинно-следственных связей между анализируемыми детерминантами и показателем ОПЖ, что приводит к нарушению свойств аддитивности результатов расчетов по различным сценариям – суммарное значение потенциала роста ОПЖ от сценарных изменений групп показателей по отдельности не совпадает с результатами комплексного сценарного изменения всех показателей. Как следствие, возникает сложность в корректном определении структуры вкладов эффектов отдельных детерминант на ОПЖ.

Результаты прогнозной оценки потенциала роста ОПЖ на уровне РФ в целом демонстрируют преимущество в оценке вклада разнородных факторов в состояние здоровья населения, дополняя и углубляя полученные ранее результаты исследований в данной области. Так, наиболее значимыми факторами, формирующими потенциал роста ОПЖ, являлись детерминанты образа жизни населения, а также факторы санитарно-эпидемиологического благополучия. При этом используемая модель прогнозной оценки потенциала роста ОПЖ имеет некоторые ограничения, такие как область определения модели. Адекватная прогнозная оценка потенциала роста ОПЖ на основе разработанной модели возможна только для макро- и мезоуровней (РФ и ее субъектов). Использование модели на данных других уровней (административно-территориальные единицы субъектов РФ, страновой уровень) требует переобучение модели и, возможно, уточнение перечня исследуемых СГД.

Выводы. В рамках построенной математической модели на основе искусственных нейронных сетей с использованием сценарных условий полного достижения запланированных национальными и федеральными проектами социально-гигиенических показателей установлен прогноз потенциала роста ОПЖ к 2024 г., который составил 3,0 года (1095 дней). Различия между значением ОПЖ от базового сценария и фактическим значением ОПЖ в 2018 г. составили не более 1,1 %, указывая на высокую точность получаемых прогнозных оценок потенциала роста показателя ОПЖ. Условная декомпозиция всей совокупности анализируемых детерминант на отдельные группы и их дальнейший анализ в виде индивидуальных сценариев их изменения к 2024 г. с последующим ранжированием значений потенциала роста ОПЖ выявили соответствие существующей на данный момент парадигме приоритетно-

¹⁴ Паспорт национального проекта «Здравоохранение» / утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24 декабря 2018 г. № 16 [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/72185920/> (дата обращения: 13.05.2021).

сти влияния факторов образа жизни, экологических и социально-демографических факторов на здоровье населения. Наибольшие прогнозные значения потенциала роста ожидаемой продолжительности жизни имели «Показатели образа жизни населения» (+1,26 г., или 461,2 дня), «Показатели санитарно-эпидемиологического благополучия территорий» (+0,58 г., или 211,9 дня), «Показатели социально-демографической сферы» (+0,54 г., или 196,3 дня).

Разработанный алгоритм определения потенциала роста ОПЖ населения может выступать в качестве инструмента корректного определения приоритетных факторов / групп факторов (социально-гигиенических детерминант), влияющих на интегральный показатель здоровья (ОПЖ) на территории для лиц, принимающих управленческие решения в области улучшения медико-демографической ситуации. Кроме того, предложенная модель оценки соответствует современным представлениям о популяционном здоровье как сложной системе, требующей многостороннего подхода в исследовании, анализе и интерпретации результатов. Полученная модель множественных нелинейных взаимосвязей между социально-гигиеническими детерминантами и показателем ожидаемой продолжительности жизни может использоваться для:

– определения управляемых (органами исполнительной власти) приоритетных социально-гигиенических детерминант (далее – СГД), оказывающих наибольший эффект на изменение показателя ОПЖ;

– построения медико-демографических прогнозов достижения планируемых уровней ожидаемой продолжительности жизни с учетом сценарных условий изменения СГД и особенностей социально-экономической, санитарно-эпидемиологической и погодно-климатической ситуации, сложившейся на конкретной территории (в субъекте Российской Федерации);

– совершенствования системы социально-гигиенического мониторинга и статистического наблюдения на региональном и федеральном уровнях путем оптимизации перечня мониторируемых показателей, совершенствования методов обработки,

анализа и оценки информации в области оценки состояния здоровья населения;

– разработки мероприятий профилактической направленности, позволяющих снизить или предотвратить воздействие конкретной СГД или группы данных детерминант на состояние здоровья населения;

– обеспечения объективной информацией лиц, принимающих участие в разработке и принятии управленческих решений, в том числе профилактического характера, направленных на сохранение и улучшение состояния здоровья населения, увеличение ОПЖ, обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия и социально-экономического благосостояния.

В целях развития и практического внедрения результатов данного исследования в практику специалистов санитарно-эпидемиологической службы, научных организаций, занимающихся вопросами общественного здравоохранения, органов муниципальной власти разработана программа для ЭВМ «Социально-экономические и санитарно-гигиенические показатели и ассоциированный с ними потенциал роста ожидаемой продолжительности жизни населения РФ» (дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ – 28.03.2022, свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022614959), позволяющая проводить численные эксперименты по обученной ИНС, используя только численные значения базового и целевого сценариев.

В дальнейшем авторы планируют продолжить исследование в области изучения совокупного, долевого и взаимного влияния социально-гигиенических детерминант на показатели здоровья населения РФ (смертность, заболеваемость по причинам), в том числе на микро- (муниципальные данные) и макроуровни (межстрановой) и в разрезе гендерных и возрастных различий.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Доклад о человеческом развитии 2019. За рамками уровня доходов и средних показателей сегодняшнего дня: неравенство в человеческом развитии в XXI веке [Электронный ресурс] // ПРООН. – URL: http://www.hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2019_overview_-_russian.pdf (дата обращения: 13.04.2022).
2. Индексы и индикаторы человеческого развития. Обновленные статистические данные 2018 [Электронный ресурс] // ПРООН. – URL: http://hdr.undp.org/sites/default/files/2018_human_development_statistical_update_ru.pdf (дата обращения: 13.04.2022).
3. Щербакова Е.М. Старение населения мира по оценкам ООН 2019 года [Электронный ресурс] // Демоскоп Weekly. – 2019. – № 837–838. – URL: <http://demoscope.ru/weekly/2019/0837/barom01.php> (дата обращения: 31.04.2022).
4. Modig K., Rau R., Ahlbom A. Life expectancy: what does it measure? // *BMJ Open*. – 2020. – Vol. 10, № 7. – P. e035932. DOI: 10.1136/bmjopen-2019-035932
5. Доклад о человеческом развитии 2020: Следующий рубеж – Человеческое развитие и антропоген [Электронный ресурс] // ПРООН. – 2020. – URL: http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr2020_ru.pdf (дата обращения: 13.04.2022).
6. Здоровая и благополучная жизнь для всех. Доклад о ситуации с обеспечением справедливости в отношении здоровья в Европейском регионе ВОЗ [Электронный ресурс] // Европейское региональное бюро ВОЗ. – 2020. – URL: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/330667/9789289054768-rus.pdf> (дата обращения: 13.04.2022).

7. *Мировая статистика здравоохранения, 2020 г.: мониторинг показателей здоровья в отношении ЦУР, целей в области устойчивого развития [Электронный ресурс] // ВОЗ. – 2020. – URL: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332070/9789240011977-rus.pdf?sequence=32&isAllowed=y> (дата обращения: 13.04.2022).*
8. *OECD and European Union. Health at a Glance: Europe 2020. State of Health in the EU Cycle. – Paris: OECD Publishing, 2020. – 237 p.*
9. *World health statistics 2019: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals [Электронный ресурс] // WHO. – 2019. – URL: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/324835/9789241565707-eng.pdf?sequence=9&isAllowed=y> (дата обращения: 13.04.2022).*
10. *Arias E., Heron M., Xu J. United States Life Tables, 2014 // Natl Vital Stat. Rep. – 2017. – Vol. 66, № 4. – P. 1–64.*
11. *GBD 2016 Mortality Collaborators. Global, regional, and national under-5 mortality, adult mortality, age-specific mortality, and life expectancy, 1970–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016 // Lancet. – 2017. – Vol. 390, № 10100. – P. 1084–1150. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)31833-0*
12. *Preston S.H., Heuveline P., Guillot M. Demography: measuring and modeling population processes. – USA: Wiley-Blackwell, 2001, 320 p.*
13. *Chandrasekaran C. Assessing the effect of mortality change in an age group on the expectation of life at birth // Janasamkhyā. – 1986. – Vol. 4, № 1. – P. 1–9.*
14. *Андреев Е.М. Метод компонент в анализе продолжительности жизни // Вестник статистики. – 1982. – № 9. – С. 42–47.*
15. *Методика оценки нагрузки смертности от различных причин на ожидаемую продолжительность жизни / А.А. Миронова, А.Н. Наркевич, К.А. Виноградов, Р.Б. Курбанисмаилов, А.М. Гржибовский // Экология человека. – 2020. – № 5. – С. 57–64. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-5-57-64*
16. *Колосницына М.Г., Коссова Т.В., Шелунцова М.А. Факторы роста ожидаемой продолжительности жизни: кластерный анализ по странам мира // Демографическое обозрение. – 2019. – Т. 6, № 1. – С. 124–150.*
17. *Коссова Т.В., Коссова Е.В., Шелунцова М.А. Анализ факторов, определяющих различие в ожидаемой продолжительности жизни мужчин и женщин в регионах России // ЭКО. – 2018. – № 4. – С. 116–132.*
18. *Карпенко Е.М., Карпенко В.М., Голуб В.Н. Исследование влияния на продолжительность жизни населения различных социально-экономических факторов // Экономический вестник университета. – 2016. – № 30–1. – С. 57–63.*
19. *Разводковский Ю.Е., Голенков А.В. Макроэкономические показатели и ожидаемая продолжительность жизни в России // Acta Medica Eurasia. – 2020. – № 2. – С. 36–42.*
20. *Системный подход к достижению общенациональной цели по увеличению ожидаемой продолжительности жизни до 78 лет к 2024 году / Г.Э. Улумбекова, Н.Ф. Прохоренко, А.Б. Гинойян, А.В. Калашникова // Экономика. Налоги. Право. – 2019. – Т. 12, № 2. – С. 19–30. DOI: 10.26794/1999-849X-2019-12-2-19-30*
21. *Григорьев Ю.А., Баран О.И. Опыт многомерного статистического анализа в медико-демографических исследованиях // Вестник РАЕН. Западно-Сибирское отделение. – 2017. – № 20. – С. 169–175.*
22. *Modeling causes of death: an integrated approach using CODEm / K.J. Foreman, R. Lozano, A.D. Lopez, C.J. Murray // Popul. Health Metr. – 2012. – Vol. 10. – P. 1. DOI: 10.1186/1478-7954-10-1*
23. *Jayasinghe S. Conceptualising population health: from mechanistic thinking to complexity science // Emerg. Themes Epidemiol. – 2011. – Vol. 8, № 1. – P. 2. DOI: 10.1186/1742-7622-8-2*
24. *The need for a complex systems model of evidence for public health / H. Rutter, N. Savona, K. Glonti, J. Bibby, S. Cummins, D.T. Finegood, F. Greaves, L. Harper [et al.] // Lancet. – 2017. – Vol. 390, № 10112. – P. 2602–2604. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)31267-9*
25. *Величковский Б.Т. Социальная биология человека // Вестник РГМУ. – 2013. – № 5–6. – С. 9–18.*
26. *Основные социально-гигиенические факторы, определяющие состояние здоровья населения России / Н.Н. Заброда, М.А. Пинигин, Б.Т. Величковский // Вестник Российского государственного медицинского университета. – 2013. – № 5-6. – С. 23–26*
27. *Оценка влияния социально-экономических факторов на состояние здоровья населения Свердловской области в системе социально-гигиенического мониторинга / Т.М. Дерстуганова, Б.Т. Величковский, А.Н. Вараксин, В.Б. Гурвич, О.Л. Малых, Н.И. Кочнева, С.В. Ярушин // Гигиена и санитария. – 2013. – Т. 92, № 6. – С. 87–89.*
28. *Li Z., Li Y. A comparative study on the prediction of the BP artificial neural network model and the ARIMA model in the incidence of AIDS // BMC Med. Inform. Decis. Mak. – 2020. – Vol. 20, № 1. – P. 143. DOI: 10.1186/s12911-020-01157-3*
29. *Renganathan V. Overview of artificial neural network models in the biomedical domain // Bratisl. Lek. Listy. – 2019. – Vol. 120, № 7. – P. 536–540. DOI: 10.4149/BLL_2019_087*
30. *Comparison of artificial neural network and logistic regression models for prediction of mortality in head trauma based on initial clinical data / B. Eftekhar, K. Mohammad, H.E. Ardebili, M. Ghodsi, E. Ketabchi // BMC Med. Inform. Decis. Mak. – 2005. – Vol. 5. – P. 3. DOI: 10.1186/1472-6947-5-3*
31. *Comparison of artificial neural network and logistic regression models for predicting in-hospital mortality after primary liver cancer surgery / H.-Y. Shi, K.-T. Lee, H.-H. Lee, W.-H. Ho, D.-P. Sun, J.-J. Wang, C.-C. Chiu // PLoS One. – 2012. – Vol. 7, № 4. – P. e35781. DOI: 10.1371/journal.pone.0035781*
32. *Аверьянова О.А., Коршак В.И. Искусственный интеллект в условиях современной медицины // Естественные и математические науки в современном мире. – 2016. – № 42. – С. 34–38.*
33. *Вьучейская М.В., Крайнова И.Н., Грибанов А.В. Нейросетевые технологии в диагностике заболеваний (обзор) // Журнал медико-биологических исследований. – 2018. – Т. 6, № 3. – С. 284–294. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.284*
34. *Ганцев Ш.Х., Франц М.В. Искусственный интеллект как инструмент поддержки в принятии решений по диагностике онкологических заболеваний // Медицинский вестник Башкортостана. – 2018. – Т. 13, № 4 (76). – С. 67–71.*
35. *Гусев А.В. Перспективы нейронных сетей и глубокого машинного обучения в создании решений для здравоохранения // Врач и информационные технологии. – 2017. – № 3 – С. 92–105.*

36. Жариков О.Г., Ковалев В.А., Литвин А.А. Современные возможности использования некоторых экспертных систем в медицине // Врач и информационные технологии. – 2008. – № 5. – С. 24–30.

37. Поряева Е.П., Евстафьева В.А. Искусственный интеллект в медицине // Вестник науки и образования. – 2019. – Т. 60, № 6–2. – С. 15–18.

38. Симанков В.С., Халафян А.А. Системный подход к разработке медицинских систем поддержки принятия решений // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2010. – Т. 157, № 1. – С. 29–36.

Прогноз потенциала роста ожидаемой продолжительности жизни населения Российской Федерации на основе сценарного изменения социально-гигиенических детерминант с использованием искусственной нейронной сети / Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, М.В. Глухих, Д.А. Кирьянов, М.Р. Камалтдинов // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 2. – С. 4–16. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.01

UDC 613; 614

DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.01.eng

Read
online



Research article

PREDICTING GROWTH POTENTIAL IN LIFE EXPECTANCY AT BIRTH OF THE POPULATION IN THE RUSSIAN FEDERATION BASED ON SCENARIO CHANGES IN SOCIO-HYGIENIC DETERMINANTS USING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

N.V. Zaitseva¹, S.V. Kleyn^{1,3}, M.V. Glukhikh¹, D.A. Kiryanov^{1,2}, M.R. Kamaltdinov¹

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

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

³Perm State Medical University named after E.A. Wagner, 26 Petropavlovskaya Str., Perm, 614000, Russian Federation

The article presents the result produced by predicting growth potential in life expectancy at birth (LEB) of the RF Population. The predictions are based on scenario changes in social and hygienic determinants (SHD) identified by using an artificial neural network (ANN). This research is vital given the existing social strategies aimed at improving the medical and demographic situation in the Russian Federation. These strategies stipulate achieving targets set within the major national and federal projects. We identified an optimal ANN structure based on a four-layer perceptron with two inner layers containing eight and three neurons accordingly. This structure is able to produce results at the highest determination coefficient ($R^2 = 0.78$). Differences between actual LEB levels and predicted ones obtained by using the suggested model did not exceed 1.1 % (or 0.8 years). We established that average LEB in the RF would reach 75.06 years (by 2024) provided that the demographic situation in the country recovers in the nearest future, LEB level reaches its values detected in 2018–2019,

© Zaitseva N.V., Kleyn S.V., Glukhikh M.V., Kiryanov D.A., Kamaltdinov M.R., 2022

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: <http://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

Svetlana V. Kleyn – Professor of the Russian Academy of Sciences, 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>).

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

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

Marat R. Kamaltdinov – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher acting as the Head of the 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>).

and SHD values grow to their preset levels according to the target scenario. Therefore, the detected growth potential amounts to 3.0 years (1095 days) against 2018. “Lifestyle-related determinants” produce the greatest effects on the growth potential in LEB by 2024 (461 days). We also identified effects produced by such SHD groups as “Sanitary-epidemiological welfare on a given territory” (212 days), “Social and demographic indicators” (196 days), “Economic indicators” (131 days), “Indicators related to public healthcare” (70 days). An indicator that shows “A share of population doing physical exercises or sports” is the most significant determinant producing the greatest effects on potential changes in LEB. If it grows up to 55.0 %, a potential growth in LEB amounts to 243.5 days. If we do not consider COVID-related processes and rely only on the trends that are being observed now when predicting changes in the demographic situation by 2030, we can expect a possible additional growth in LEB that equals 286 days. The developed algorithm for determining growth potential in population LEB can be used as an instrument for determining and ranking priority health risk factors.

Keywords: life expectancy at birth, socio-hygienic determinants, artificial neural networks, factor analysis, prediction of a medical and demographic situation, growth potential, national projects, lifestyle, sanitary-epidemiological welfare.

References

1. Human Development Report 2019. Beyond income, beyond averages, beyond today: Inequalities in human development in the 21st century. *UNDP*, 2019. Available at: <https://hdr.undp.org/system/files/documents/hdr2019pdf.pdf> (13.04.2022).
2. Human Development Indices and Indicators. 2018 Statistical Update. *UNDP*. Washington DC, USA, Communications Development Inc., 2018, 123 p.
3. Shcherbakova E.M. Starenie naseleniya mira po otsenkam OON 2019 goda [The aging of the world population according to UN estimates 2019]. *Demoskop Weekly*, 2019, no. 837-838. Available at: <http://demoscope.ru/weekly/2019/0837/barom01.php> (31.04.2022) (in Russian).
4. Modig K., Rau R., Ahlborn A. Life expectancy: what does it measure? *BMJ Open*, 2020, vol. 10, no. 7, pp. e035932. DOI: 10.1136/bmjopen-2019-035932
5. Human Development Report 2020. The next frontier. Human development and the Anthropocene. *UNDP*, 2020. Available at: <https://hdr.undp.org/system/files/documents/hdr2020pdf.pdf> (13.04.2022).
6. Healthy, prosperous lives for all: the European Health Equity Status Report. *WHO Regional Office for Europe*, 2019. Available at: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/326879> (13.04.2022).
7. World health statistics 2020: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. *WHO*, 2020. Available at: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332070/9789240005105-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (13.04.2022).
8. OECD and European Union. Health at a Glance: Europe 2020. State of Health in the EU Cycle. Paris, OECD Publishing, 2020, 237 p.
9. World health statistics 2019: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. *WHO*, 2019. Available at: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/324835/9789241565707-eng.pdf?sequence=9&isAllowed=y> (13.04.2022).
10. Arias E., Heron M., Xu J. United States Life Tables, 2014. *Natl Vital Stat. Rep.*, 2017, vol. 66, no. 4, pp. 1–64.
11. GBD 2016 Mortality Collaborators. Global, regional, and national under-5 mortality, adult mortality, age-specific mortality, and life expectancy, 1970–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet*, 2017, vol. 390, no. 10100, pp. 1084–1150. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)31833-0
12. Preston S.H., Heuveline P., Guillot M. Demography: measuring and modeling population processes. USA, Wiley-Blackwell, 2001, 320 p.
13. Chandrasekaran C. Assessing the effect of mortality change in an age group on the expectation of life at birth. *Jana-sankhya*, 1986, vol. 4, no. 1, pp. 1–9.
14. Andreev E.M. Metod komponent v analize prodolzhitel'nosti zhizni [Component method in lifespan analysis]. *Vestnik statistiki*, 1982, no. 9, pp. 42–47 (in Russian).
15. Mironova A.A., Narkevich A.N., Vinogradov K.A., Kurbanismaylov R.B., Grjibovski A.M. Estimation method of contribution of cause-specific mortality to life expectancy. *Ekologiya cheloveka*, 2020, no. 5, pp. 57–64. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-5-57-64 (in Russian).
16. Kolosnitsyna M., Kossova T., Sheluntcova M. Factors of the life expectancy increase: country-level cluster analysis. *Demograficheskoe obozrenie*, 2019, vol. 6, no. 1, pp. 124–150 (in Russian).
17. Kossova T.V., Kossova E.V., Sheluntcova M.F. An analysis of the factors determining the difference in life expectancy of men and women in Russian regions. *EKO*, 2018, no. 4, pp. 116–132 (in Russian).
18. Karpenko E.M., Karpenko V.M., Golub V.N. Studying of different social and economic factors impact on duration of population living. *Ekonomicheskii vestnik universiteta*, 2016, no. 30–1, pp. 57–63 (in Russian).
19. Razvodovsky Yu.E., Golenkov A.V. Macroeconomic indicators and life expectancy in Russia. *Acta Medica Eurasia*, 2020, no. 2, pp. 36–42 (in Russian).
20. Ulumbekova G.E., Prokhorenko N.F., Ghinoyan A.B., Kalashnikova A.V. A system approach to achieving the national goal of increasing life expectancy to 78 years by 2024. *Ekonomika. Nalogi. Pravo*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 19–30. DOI: 10.26794/1999-849X-2019-12-2-19-30 (in Russian).
21. Grigor'ev Yu.A., Baran O.I. Opyt mnogomernogo statisticheskogo analiza v mediko-demograficheskikh issledovaniyakh [Experience of multivariate statistical analysis in demographic and medical research]. *Vestnik RAEN. Zapadno-Sibirskoe otdelenie*, 2017, no. 20, pp. 169–175 (in Russian).
22. Foreman K.J., Lozano R., Lopez A.D., Murray C.J. Modeling causes of death: an integrated approach using CODEm. *Popul. Health Metr.*, 2012, vol. 10, pp. 1. DOI: 10.1186/1478-7954-10-1

23. Jayasinghe S. Conceptualising population health: from mechanistic thinking to complexity science. *Emerg. Themes Epidemiol.*, 2011, vol. 8, no. 1, pp. 2. DOI: 10.1186/1742-7622-8-2
24. Rutter H., Savona N., Glonti K., Bibby J., Cummins S., Finegood D.T., Greaves F., Harper L. [et al.]. The need for a complex systems model of evidence for public health. *Lancet*, 2017, vol. 390, no. 10112, pp. 2602–2604. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)31267-9
25. Velichkovskiy B.T. Social human biology as a science. *Vestnik RGMU*, 2013, no. 5-6, pp. 9–18 (in Russian).
26. Zabroda N.N., Pinigin M.A., Velichkovskiy B.T. Major social factors determining the state of public health in Russia. *Bulletin of Russian State Medical University*, 2013, no. 5–6, pp. 23–26
27. Derstuganova T.M., Velichkovskiy B.T., Varaksin A.N., Gurvich V.B., Malykh O.L., Kochneva N.I., Yarushin S.V. Assessment of the impact of socio-economic factors on the health state of the population of the Sverdlovsk region in the system of social-hygienic monitoring. *Gigiena i sanitariya*, 2013, vol. 92, no. 6, pp. 87–89 (in Russian).
28. Li Z., Li Y. A comparative study on the prediction of the BP artificial neural network model and the ARIMA model in the incidence of AIDS. *BMC Med. Inform. Decis. Mak.*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 143. DOI: 10.1186/s12911-020-01157-3
29. Renganathan V. Overview of artificial neural network models in the biomedical domain. *Bratisl. Lek. Listy*, 2019, vol. 120, no. 7, pp. 536–540. DOI: 10.4149/BLL_2019_087
30. Eftekhari B., Mohammad K., Ardebili H.E., Ghodsi M., Ketabchi E. Comparison of artificial neural network and logistic regression models for prediction of mortality in head trauma based on initial clinical data. *BMC Med. Inform. Decis. Mak.*, 2005, vol. 5, pp. 3. DOI: 10.1186/1472-6947-5-3
31. Shi H.-Y., Lee K.-T., Lee H.-H., Ho W.-H., Sun D.-P., Wang J.-J., Chiu C.-C. Comparison of artificial neural network and logistic regression models for predicting in-hospital mortality after primary liver cancer surgery. *PLoS One*, 2012, vol. 7, no. 4, pp. e35781. DOI: 10.1371/journal.pone.0035781
32. Averianova O., Korshak V. Artificial intelligence in the modern medicine. *Estestvennye i matematicheskie nauki v sovremennom mire*, 2016, no. 42, pp. 34–38 (in Russian).
33. Vyucheyanskaya M.V., Kraynova I.N., Gribanov A.V. Neural network technologies in medical diagnosis (review). *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy*, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 284–294. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.3.284 (in Russian).
34. Gantsev Sh.Kh., Frants M.V. Artificial intelligence as a tool for decision-making support in the diagnostics of oncological diseases. *Meditinskii vestnik Bashkortostana*, 2018, vol. 13, no. 4 (76), pp. 67–71 (in Russian).
35. Gusev A.V. Prospects for neural networks and deep machine learning in creating health solutions. *Vrach i informatsionnye tekhnologii*, 2017, no. 3, pp. 92–105 (in Russian).
36. Zharikov O.G., Kovalev V.A., Litvin A.A. Sovremennye vozmozhnosti ispol'zovaniya nekotorykh ekspertnykh sistem v meditsine [Modern possibilities of using some expert systems in medicine]. *Vrach i informatsionnye tekhnologii*, 2008, no. 5, pp. 24–30 (in Russian).
37. Poryaeva E.P., Evstafieva V.A. Artificial intelligence in medicine. *Vestnik nauki i obrazovaniya*, 2019, vol. 60, no. 6–2, pp. 15–18 (in Russian).
38. Simankov V.S., Khalaphyan A.A. The system approach to working out of medical decision support system. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Tekhnicheskie nauki*, 2010, no. 1 (157), pp. 29–36 (in Russian).

Zaitseva N.V., Kleyn S.V., Glukhikh M.V., Kiryanov D.A., Kamaltdinov M.R. Predicting growth potential in life expectancy at birth of the population in the Russian Federation based on scenario changes in socio-hygienic determinants using an artificial neural network. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 2, pp. 4–16. DOI: 10.21668/health.risk/2022.2.01.eng

Получена: 09.06.2022

Одобрена: 18.06.2022

Принята к публикации: 27.06.2022