

УДК 314.4, 314.93

DOI: 10.22213/2410-9304-2026-2-25-34

Исследование факторов динамики ожидаемой продолжительности жизни и ее прогнозирование на основе математических моделей

Д. Д. Вавилова, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

М. Н. Красноперова, студент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Статья посвящена анализу показателей, влияющих на ожидаемую продолжительность жизни населения (ОПЖ) на примере статистических данных по Удмуртской Республике. Изучение влияния факторов проведено с помощью методов первичного, корреляционного и регрессионного анализов. Выполнено построение математических моделей для описания зависимости между ожидаемой продолжительностью жизни населения и рядом социально-экономических показателей, среди которых коэффициент смертности, общая заболеваемость населения, заболеваемость новообразованиями, болезнями системы кровообращения и нервной системы, число больничных коек, численность врачей и людей с инвалидностью, расходы консолидированного бюджета в здравоохранении. На основе показателей качества построенных моделей выбрана наиболее точная модель множественной регрессии. Выявлено, что ожидаемая продолжительность жизни населения имеет обратную зависимость с коэффициентом смертности и прямо пропорциональную зависимость с числом больничных коек. Определена умеренная положительная связь между удельными инвестициями в здравоохранение и ожидаемой продолжительностью жизни населения. Проведен анализ показателей здоровья населения в Удмуртской Республике в разрезе муниципальных районов. Наиболее благоприятная демографическая ситуация наблюдается в центральных и южных районах республики, прилегающих к столице, тогда как в северных и периферийных районах фиксируются минимальные значения ожидаемой продолжительности жизни и максимальные показатели смертности, что коррелирует с удаленностью от регионального центра (коэффициент корреляции между расстоянием до г. Ижевска и ОПЖ составляет $-0,62$). Построен прогноз динамики ожидаемой продолжительности жизни населения региона до 2030 года. С помощью метода скользящего окна определена наиболее вероятная (на 95 % уровне значимости) динамика ожидаемой продолжительности жизни населения, которая к 2030 году составит 72,74 лет. Полученные результаты могут быть использованы для оценки эффективности работы системы здравоохранения, планирования распределения ресурсов, а также для дальнейших исследований связи состояния здоровья населения с социально-экономическим развитием региона.

Ключевые слова: моделирование, прогноз, Удмуртская Республика, ожидаемая продолжительность жизни, смертность, рождаемость, заболеваемость населения, инвестиции в здравоохранение.

Введение

Ключевым фактором, отражающим качество жизни и обеспечивающим представление об уровне экономического и социального развития страны или региона, является ожидаемая продолжительность жизни (ОПЖ) населения [1]. ОПЖ служит базовым параметром для долгосрочного макроэкономического прогнозирования. Изменения в продолжительности жизни напрямую влияют на возрастную структуру населения, что определяет динамику трудовых ресурсов, потребительского спроса и инвестиционной активности [2].

Анализ и прогнозирование ОПЖ является не только демографической задачей, это междисциплинарный инструмент экономического управления. Высокая доля здоровых людей в структуре населения напрямую способствует росту валового регионального продукта за счет повышения производительности труда, снижения затрат на медицинское обслуживание и со-

циальные выплаты по болезни, а также за счет сокращения экономических потерь из-за временной нетрудоспособности. Здоровое население – это более активная, квалифицированная и долгосрочно занятая рабочая сила; рост его доли повышает общий уровень человеческого капитала [3].

Точность прогнозов ОПЖ определяет устойчивость пенсионных систем, эффективность здравоохранения, конкурентоспособность рынка труда и долгосрочные темпы экономического роста [4, 5]. В глобальном масштабе ОПЖ населения выросла с 46,5 лет в 1950 году до 73,3 лет в 2023 году, что кардинально изменило экономическую структуру развитых стран. В Российской Федерации ОПЖ населения также выросла, например, за 30-летний период этот рост составил величину с 63,9 лет в 1993 году до 73,4 лет в 2023 году. Данная динамика отражает преодоление демографического кризиса 1990-х годов и последующие успехи в снижении смерт-

ности, особенно среди мужчин трудоспособного возраста. Однако гендерный разрыв остается высоким¹: по данным 2023 года женщины живут дольше мужчин на 10,7 лет.

В Удмуртской Республике (УР) также наблюдается рост ОПЖ населения за последнее 25-тилетие. В 1998 году ОПЖ населения составляла 67,6 лет, а к 2023 году она возросла до 72,3 лет². При этом для женщин значение показателя увеличилось с 73,5 лет в 1998 году до 78,9 лет в 2023 году. Для мужчин – с 61,7 лет в 1998 году до 65,7 года в 2023 лет.

Комплексный анализ демографической ситуации в сельских муниципальных образованиях УР за 2019–2023 годы проведен в работе [6]. Авторы исследуют динамику численности населения, уровни рождаемости и смертности, структуру причин смертности, демографическую нагрузку и миграционные процессы.

Особое внимание уделяется дифференциации данных по муниципальным районам УР, что позволяет выявить территории с наиболее острыми проблемами, такие как старение населения, высокая смертность от болезней системы кровообращения и внешних причин, а также значительный отток трудоспособного населения. На основе статистических данных делается вывод об ухудшении демографической ситуации в регионе.

Наше исследование направлено на изучение зависимости между ОПЖ населения и рядом социально-экономических показателей в УР, среди которых коэффициент смертности, общая заболеваемость населения, заболеваемость новообразованиями, болезнями системы кровообращения и нервной системы, число больничных коек, численность врачей и людей с инвалидностью, а также бюджетные расходы в систему здравоохранения УР. Оно дополняет ранние работы исследователей демографических характеристик региона. Цель работы заключается в математическом моделировании и прогнозировании ожидаемой продолжительности жизни населения региона путем количественной оценки факторов ее динамики, в том числе в разрезе муниципальных образований. Она достигается за счет применения современного математического аппарата и использования компьютерных средств.

Актуальность применения различных математических методов и способов анализа временных рядов подтверждается различными исследова-

ния. Так, Д. Б. Егоров, С. Д. Захаров и А. О. Егорова [7] приводят такие методы анализа показателей системы здравоохранения, как графический анализ, сглаживание методом скользящей средней, метод экспоненциального сглаживания. Исследователи А. Г. Гузенко, С. В. Кучерова и В. В. Ващенко [8] используют методы дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализа для построения моделей заболеваемости болезнями органов дыхания. В публикации Л. Л. Шубина, Р. Р. Гумерова, И. Б. Хайрутдиновой [9] проводится статистический анализ динамики заболеваемости злокачественными новообразованиями населения региона за 2018–2023 годы по городам и районам УР.

Также можно привести работу А. В. Быковой [10], в которой представлены результаты оценки значимости общественного здоровья с точки зрения достижения национальных целей в социально-экономической сфере. Автор выполняет расчет индексов медико-демографических показателей, учитывает степень вероятности достижения максимальных параметров жизнедеятельности общества и оценивает здоровье населения как интегральную категорию.

Чаще всего моделирование и прогноз показателей здоровья населения проводятся с помощью статистических моделей [11]. При этом для выбора более адекватной модели прогнозирования временных рядов рассматриваются такие показатели качества моделей, как средняя абсолютная ошибка (MAE), среднеквадратическая ошибка (MSE), средняя относительная ошибка (MAPE):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|, \quad MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2,$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right| \cdot 100\%,$$

где y_t – фактическое значение; \hat{y}_t – значение, полученное по модели (модельное); n – количество наблюдений.

Материалы и методы исследования

Настоящее исследование включает применение первичного, корреляционного и регрессионного видов анализов. Первичный анализ осуществляется путем расчета параметров описательной статистики (среднее арифметическое, медиана, мода, размах выборки, дисперсия, стандартное отклонение [12]).

¹ Демографический ежегодник России / Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://eng.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/DEM23.pdf> (дата обращения: 02.12.2025).

² Регионы РФ. Основные характеристики субъектов Российской Федерации / Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 02.12.2025).

Корреляционный анализ используется для описания связи между показателями [13]. посредством регрессионного анализа выполняется построение математических моделей, которые исследуют совокупное влияние объясняющих переменных на результирующую переменную (ОПЖ). Далее выполняется выбор более адекватной модели для прогноза (на основе показателей качества).

Для прогноза реализован динамический подход методом скользящего окна. Суть метода заключается в использовании ограниченного интервала данных для построения прогнозной модели со смещением вперед по временной оси [14]. Задаются два параметра: размер окна w – количество наблюдений для построения модели, h – шаг прогнозирования, на какой период строится прогноз [15].

Рассматривается результирующий фактор (объясняемая переменная) *ожидаемая продолжительность жизни* (Y). В качестве объясняющих переменных рассматриваются удельные показатели (в расчете на 1000 человек):

- общая заболеваемость (X_1);
- заболеваемость новообразованиями (X_2);
- заболеваемость болезнями системы кровообращения (X_3);
- заболеваемость болезнями нервной системы (X_4);
- общий коэффициент смертности (X_5);
- общая численность людей с инвалидностью (X_6);
- бюджетные расходы в здравоохранение (X_7);
- численность врачей всех специальностей (X_8);
- число больничных коек (X_9).

Результаты исследования динамики ОПЖ населения УР

В ходе первоначального анализа был проведен сбор статистических данных по Удмуртской Республике за период 2000–2023 годы. Информация об ОПЖ населения, общей заболеваемо-

сти, заболеваемости по отдельным классам болезней, общих коэффициентах смертности, числе врачей и коек была получена из ежегодного сборника «Регионы РФ» на официальном сайте Росстата³. Данные о численности инвалидов были получены на официальном сайте Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по УР⁴. Информация о бюджетных расходах в здравоохранение УР была собрана на официальном сайте Федерального казначейства⁵ и впоследствии приведена к сопоставимым ценам с помощью индексов-дефляторов⁶. Таким образом, был создан набор данных из 10 числовых переменных за 24 года наблюдений.

Анализ исходного набора статистических данных, а также последующее моделирование и построение прогноза были реализованы в среде разработки RStudio на языке программирования R. Созданный в ходе исследования программный модуль позволил выполнить расчет описательных статистик, при анализе которых было выявлено выбросов в данных и выраженной асимметрии. Далее была проверена мультиколлинеарность факторов ($X_1 - X_9$). Полагают [16], что два фактора находятся в линейной зависимости, если значение парного коэффициента корреляции $r_{x_i x_j} \geq 0,7$; в таком случае, один из факторов стоит исключить. Таким образом, в ходе корреляционного анализа из исходного набора данных были исключены 4 фактора: заболеваемость новообразованиями (X_2), заболеваемость болезнями системы кровообращения (X_3), численность людей с инвалидностью (X_6), численность врачей (X_8) – в связи с наличием между ними статистически значимой мультиколлинеарности.

Далее в ходе регрессионного анализа выполнено построение математических моделей зависимости ОПЖ населения (Y) от факторов, не обладающих мультиколлинеарностью (X_1, X_4, X_5, X_7, X_9). Применен пошаговый отбор факторов регрессии и вида уравнения модели [17]. В результате перебора различных моделей ме-

³ Регионы РФ. Основные характеристики субъектов Российской Федерации // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 02.12.2025).

⁴ Социальная сфера / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по УР. URL: <https://18.rosstat.gov.ru/folder/51931> (дата обращения: 02.12.2025).

⁵ Консолидированные бюджеты субъектов РФ и бюджетов территориальных государственных внебюджетных фондов // Федеральное казначейство. URL: <http://www.roskazna.ru/ispolnenie-byudzheto/konsolidirovannye-byudzhety-subektov> (дата обращения: 02.12.2025).

⁶ Национальные счета. Индексы // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/accounts> (дата обращения: 02.12.2025).

годом пошагового отбора факторов наилучшей моделью (по критериям максимума коэффициента детерминации и минимума ошибок MAE , MSE , $MAPE$) оказалась модель зависимости ОПЖ населения от динамики коэффициента смертности и числа больничных коек:

$$Y = 89,15 - 0,70X_5 + 1,05X_9. \quad (1)$$

Статистические данные ОПЖ населения, коэффициента смертности и число коек в УР за анализируемый период представлены в табл. 1.

Таблица 1. Статистические данные динамики ОПЖ населения, коэффициента смертности и числа больничных коек (в расчете на 1000 человек населения) в УР за период 2000–2024 годы

Table 1. Statistical data on the dynamics of life expectancy of the population, mortality rate and the number of hospital beds (per 1000 population) in the Udmurt Republic for the period 2000-2024

Год	Показатель		
	ОПЖ, лет	Коэффициент смертности, ‰	Число коек, ‰
2000	65,98	13,40	13,26
2001	65,26	14,10	13,33
2002	64,34	15,20	13,48
2003	64,34	15,70	13,36
2004	64,20	15,40	13,04
2005	64,34	15,50	12,46
2006	66,01	14,30	12,33
2007	66,59	14,20	12,83
2008	67,19	14,00	11,69
2009	68,26	13,20	11,06
2010	68,10	13,90	10,18
2011	68,88	13,40	9,81
2012	69,73	12,90	9,95
2013	69,92	12,70	9,89
2014	70,03	12,80	10,02
2015	70,46	12,90	9,29
2016	70,86	12,60	8,44
2017	72,06	12,00	8,12
2018	72,45	12,00	7,81
2019	72,80	11,90	7,45
2020	71,03	14,40	7,84
2021	69,99	16,00	7,97
2022	72,13	12,60	8,02
2023	72,34	12,30	7,99
2024	*	*	8,09

*Правительством Российской Федерации принято решение о временном приостановлении предоставления и распространения информации в соответствии с ч. 10 ст. 5 Федерального закона от 29 ноября 2007 г. № 282-ФЗ «Об официальном статистическом учете и системе государственной статистики в Российской Федерации».

По табл. 1 можно сказать, что ОПЖ населения в УР выросла с 65,98 года в 2000 году до 72,34 года в 2023 году. Прирост ОПЖ населения в регионе за 2000–2023 годы составил 9,4 %. Максимальное значение показателя зафиксировано в 2019 году (72,80 лет), минимальное – в 2004 году (64,20 лет). Коэффициент смертности уменьшился с 13,4 промилле в 2000 году до 12,3 промилле в 2023 году (снижение – 8,2 %). Максимальное значение наблюдалось в 2021 году (16,0 промилле), минимальное – в 2019 году (11,9 промилле). Заметна отрицательная динамика по числу больничных коек в регионе: с 13,3 промилле в 2000 году произошло уменьшение до 8,1 промилле в 2024 году (снижение – 39,0 %).

Произведем оценку качества полученной модели (1). Значение коэффициента детерминации составило 0,983, т. е. 98,3 % вариации Y объясняется изменением факторов X_5 , X_9 . Средняя ошибка аппроксимации составила 0,54 %.

Реализуем прогноз ОПЖ населения УР до 2030 года с помощью метода скользящего окна для параметров: размер окна $w=10$, шаг прогнозирования $h=3$ (см. рис. 1). Данные параметры наиболее оптимальные, поскольку при них качество прогноза наибольшее: $MAE=0,38$, $MSE=0,49$, $MAPE=0,54\%$.

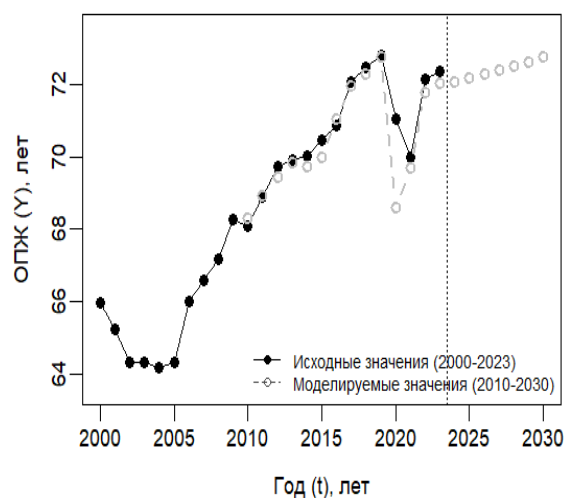


Рис. 1. Результат прогноза ожидаемой продолжительности жизни населения УР

Fig. 1. Result of the forecast of life expectancy of the population of the Udmurt Republic

На рис. 1 представлена наиболее вероятная (на уровне значимости 95 %) динамика ОПЖ населения УР, которая к 2030 году составит 72,7 лет. В прогнозном периоде она обладает положительной тенденцией к росту, которая объясняется тенденциями изменений факторов, в том числе снижением смертности, увеличением инвестиций в здравоохранение и т. д.

Изучим динамику расходов консолидированного бюджета и территориальных государственных внебюджетных фондов УР в здравоохранении. На рис. 2 представлены бюджетные расходы в системе здравоохранения за анализируемый период в сопоставимых ценах 2024 года, приходящиеся на одного жителя региона. По данным, приведенным на рис. 2, можно заметить, что в ценах 2024 года удельные бюджетные расходы в здравоохранении увеличились с 10,8 тыс. руб./год (2000 год) до 30,7 тыс. руб./год (2024 год). Это, несомненно, положительная тенденция. Коэффициент корреляции между удельными бюджетными расходами в здравоохранении УР и ОПЖ составляет 0,672, что свидетельствует об умеренной статистически значимой связи. Рост финансирования здравоохранения будет способствовать повышению качества медицинской помощи, внедрению новых технологий диагностики и лечения.

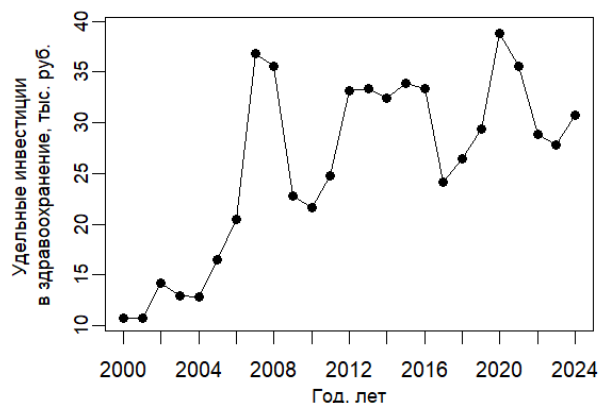


Рис. 2. Динамика расходов консолидированного бюджета и территориальных государственных внебюджетных фондов УР в здравоохранении за 2000–2024 годы (в ценах 2024 года) на одного жителя региона, тыс. руб./год

Fig. 2. Dynamics of expenditures of the consolidated budget and territorial state extra-budgetary funds of the Udmurt Republic in health care for 2000–2024 (in 2024 prices) per capita of the region, thousand rubles per year

Для более глубокого исследования ОПЖ населения УР необходимо оценить показатели здоровья населения в муниципальных районах региона. Для этих целей используем статистические данные рождаемости, смертности⁷, заболеваний злокачественными новообразованиями⁸ и ОПЖ в дифференциации по муниципальным районам УР (см. табл. 2).

Таблица 2. Статистические данные динамики рождаемости, смертности, заболеваний злокачественными новообразованиями и ОПЖ по муниципальным районам УР в 2023 году

Table 2. Statistical data on the dynamics of fertility, mortality, malignant neoplasms and life expectancy by municipal districts of the Udmurt Republic in 2023

Район (городской округ)	Показатель			
	Коэффициент рождаемости, ‰	Коэффициент смертности, ‰	Заболеваемость новообразованиями, ‰	ОПЖ, лет
Алнашский	9,6	11,9	4,0	73,8
Балезинский	9,9	14,7	4,7	72,1
Вавожский	9,0	13,5	5,4	72,0
Воткинский	6,9	11,9	4,9	70,7
Глазовский	5,1	16,4	5,3	65,3
Граховский	8,9	15,4	5,3	70,6
Дебёсский	11,4	13,6	6,0	74,6
Завьяловский	11,4	10,5	5,7	76,8
Игринский	8,6	14,0	4,9	71,1
Камбарский	7,0	17,7	5,5	67,2
Каракулинский	8,3	15,8	4,7	70,0
Кезский	8,8	14,3	5,2	71,3
Кизнерский	9,2	14,9	4,4	71,2
Киясовский	9,1	19,0	6,6	69,0
Красногорский	7,2	17,8	4,6	67,5
Малопургинский	9,7	12,8	4,7	73,6
Можгинский	9,1	14,0	4,8	71,7
Сарапульский	7,3	11,5	4,4	71,5
Селтинский	7,7	15,7	8,0	69,2
Сюмсинский	10,6	18,4	6,7	70,6
Увинский	11,1	13,0	5,0	74,6
Шарканский	9,7	12,3	3,7	73,7
Юкаменский	8,0	16,9	5,6	68,7
Якшур-Бодьинский	10,5	12,8	4,1	74,1
Ярский	7,8	19,2	5,8	67,5
Воткинск	8,4	11,9	4,6	71,3
Глазов	5,0	13,3	5,1	68,1
Ижевск	8,4	11,2	5,2	73,2
Можга	9,0	11,9	–	73,3
Сарапул	8,4	12,8	5,3	70,8
В среднем по УР	8,7	14,3	5,2	71,2

⁷ Социальная сфера // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по УР. URL: <https://18.rosstat.gov.ru/folder/51931> (дата обращения: 02.12.2025).

⁸ Государственные доклады // Управление федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Удмуртской Республике. URL: <https://18.rosпотребнадзор.ru/content/426> (дата обращения: 02.12.2025).

По табл. 2 видно, что рождаемость в регионе варьируется от 5,0 до 11,4 ‰, среднее значение по УР в 2023 году составляет 8,7 ‰. Смертность населения УР в 2023 году варьируется от 10,5 до 19,2 ‰. Среднее значение показателя по региону – 14,3 ‰, что намного выше значений в городах. Заболеваемость злокачественными новообразованиями изменяется от 3,7 до 8,0 ‰, среднее значение по УР составляет 5,2 ‰. ОПЖ населения в 2023 году варьируется в диапазоне от 65,3 до 76,8 года. В среднем по УР ОПЖ составляет 71,2 года.

Визуализируем данные о показателях здоровья населения по районам УР с использованием API Яндекс.Карт (см. рис. 3). В 2023 году максимальное значение коэффициента рождаемо-

сти – 11,4 промилле – наблюдается в Завьяловском и Дебёссском районах (рис. 3, а). Наименьшее значение – в Глазовском районе – 5,1 промилле. Наибольшие значения коэффициента рождаемости демонстрируются в Сюзьинском (10,6 ‰), Увинском (11,1 ‰) и Якшур-Бодьинском (10,5 ‰) районах. Более высокие значения показателя в центральных и южных районах УР могут быть связаны с близостью столицы региона. Наибольшие значения коэффициента рождаемости наблюдаются в городе Можге (9,0 ‰) и в городе Ижевске (8,4 ‰). Средние значения показателя (7,4 ‰) демонстрируются в городе Воткинске и в Сарапуле. Для сравнения, по РФ показатель рождаемости в 2023 году составил 8,6 ‰⁹.

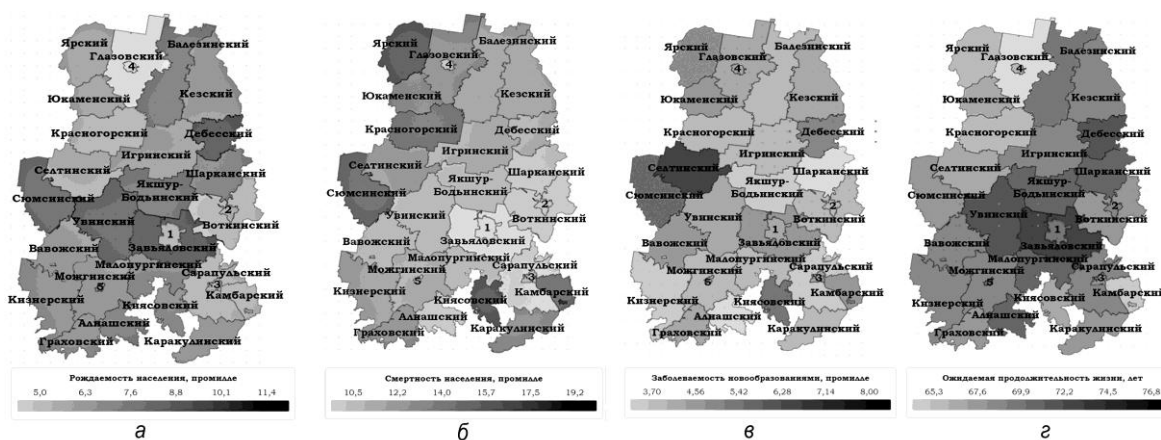


Рис. 3. Цветограмма распределения районов УР в 2023 году по величине показателя: а – рождаемости; б – смертности; в – заболеваемости новообразованиями среди населения; г – ОПЖ, где 1 – г. Ижевск, 2 – г. Воткинский, 3 – г. Сарапул, 4 – г. Глазов, 5 – г. Можга

Fig. 3. Color scale distribution of the districts of the Udmurt Republic in 2023 by the value of the indicator: a) fertility; b) mortality; c) the incidence of neoplasms among the population; d) Life Expectancy, where 1 – Izhevsk, 2 – Воткинский, 3 – Sarapul, 4 – Glazov, 5 – Mozhga

Важным фактором при оценке ОПЖ жизни населения в муниципальных районах является коэффициент смертности населения (рис. 3, б). В 2023 год наименьшее значение коэффициента смертности наблюдается в Завьяловском районе – 10,5 промилле, а наибольшее – в Ярском районе (19,2 промилле).

Также значение коэффициента смертности выше среднего по УР: в Киясовском (19,0 ‰), Сюзьинском (18,4 ‰), Красногорском (17,8 ‰), Камбарском (17,7 ‰), Юкаменском (16,9 ‰), Глазовском (16,4 ‰), Каракулинском (15,8 ‰), Селтинском (15,7 ‰), Граховском (15,4 ‰), Кизнерском (14,9 ‰) и Базельинском (14,7 ‰) районах. Среди городов УР наибольшие значения коэффициента смертности – в городе Глазо-

ве (13,3 ‰) и городе Сарапуле (12,8 ‰). В среднем по РФ показатель смертности в 2023 году составил 12,1 ‰⁹.

Одной из главных причин смертности населения в УР являются новообразования [18]. Наибольшее значение заболеваемости злокачественными новообразованиями (8,0 ‰) наблюдается в Селтинском районе, а наименьшее (3,7 ‰) – в Шарканском районе (рис. 3, в). Также более высокие показатели – в Сюзьинском (6,7 ‰), Киясовском (6,6 ‰), Дебёссском (6,0 ‰), Ярском (5,8 ‰), Завьяловском (5,7 ‰) и Юкаменском (5,6 ‰) районах. Невысокое значение показателя демонстрируется в городе Глазове (5,1 ‰). Наименьшее значение заболеваемости наблюдается в городе Воткинске (4,6 ‰).

⁹ Регионы РФ. Основные характеристики субъектов Российской Федерации // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 02.12.2025).

В среднем по РФ заболеваемость злокачественными новообразованиями в 2023 году – 4,6 ‰¹⁰.

И наконец, рассмотрим ОПЖ населения в районах УР в 2023 году. Наибольшее значение (76,8 года) наблюдается в Завьяловском районе, наименьшее (65,3 года) – в Глазовском. Высокие значения ОПЖ демонстрируются в Дебёссском (74,6 года), Увинском (74,6 года), Шарканском (73,7 года), Якшур-Бодьинском (74,1 года), Малопургинском (73,6 года) и Алнашском (73,8 года) районах. А в Ярском (67,5 года), Красногорском (67,5 года), Юкаменском (68,7 года), Селтинском (69,2 года) и Киясовском (69,0 года) районах наблюдаются наименьшие значения показателя. Максимальные значения ОПЖ сконцентрированы в центральной и южной части региона. Высокая ОПЖ населения может быть обусловлена наибольшей доступностью и качеством медицинской помощи, высоким уровнем доходов и развитой инфраструктурой. А в сельских районах региона наблюдается повышенный коэффициент смертности, что приводит к снижению ОПЖ. Выявлена корреляционная связь между ОПЖ населения в муниципальных районах и расстоянием от регионального центра УР (г. Ижевск). Коэффициент корреляции между показателями составляет $-0,62$, что свидетельствует о наличии обратной умеренной статистически значимой связи. Из чего можно подтвердить ранее сделанный вывод о том, что при увеличении расстояния от района до столицы снижается ОПЖ населения УР.

Заключение

В результате проведенного исследования была построена математическая модель ожидаемой продолжительности жизни населения Удмуртской Республики, которая описывает зависимость ОПЖ от общего коэффициента смертности и числа больничных коек. Сделан вывод, что при уменьшении на 1 ед. общего коэффициента смертности ожидаемая продолжительность жизни увеличится на 0,7 года; при увеличении на 1 ед. числа больничных коек (в расчете на 1000 человек населения) ОПЖ населения увеличивается на 1,05 года. С помощью метода скользящего окна определена наиболее вероятная (на 95 % уровне значимости) динамика ОПЖ населения, которая к 2030 году составит 72,7 года. Ошибка аппроксимации модели равна 0,54 %.

Исследование влияния удельных бюджетных расходов в здравоохранении на ОПЖ населения в УР демонстрирует, что рост финансирования здравоохранения способствует повышению доступности и качества медицинской помощи, внедрению новых технологий диагностики и лечения.

В результате исследования показателей здоровья населения в дифференциации по районам и городам УР удалось выявить, что наиболее благоприятная ситуация наблюдается в центральных и южных районах регионов УР, в которых демонстрируются высокие показатели рождаемости, ОПЖ и низкие показатели смертности и заболеваемости новообразованиями. Среди городов наиболее благоприятная ситуация в г. Ижевске, г. Воткинске и г. Можге: значения рождаемости и ОПЖ близки или превышают средние значения по УР, а значения смертности и заболеваемости злокачественными новообразованиями меньше среднего по УР.

Благоприятная ситуация по динамике ОПЖ наблюдается в центральных и южных районах республики, прилегающих к столице, тогда как в северных и периферийных районах фиксируются минимальные значения ОПЖ населения и максимальные показатели смертности, что коррелирует с удаленностью от регионального центра.

Корреляционная связь между ОПЖ населения в муниципальных округах и расстоянием от регионального центра (г. Ижевск) составляет $-0,62$, что свидетельствует о наличии обратной умеренной статистически значимой связи и подтверждает гипотезу о влиянии географического фактора на демографические показатели.

Для улучшения состояния здоровья населения и демографической обстановки в УР необходимо повышать уровень жизни в сельских районах, а именно, развивать систему здравоохранения: (повышение качества и доступности медицинской помощи, увеличение числа врачей, повышение зареботных плат, обновление оборудования и т. д.).

Библиографические ссылки

1. The long-term effect of social, educational, and health expenditures on indicators of life expectancy: an empirical analysis for the OECD countries / National Library of Medicine. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11688634> (дата обращения: 10.11.2025).

¹⁰ В 2024 году почти 700 тысяч россиян впервые получили онкологический диагноз // Высшая школа организации и управления здравоохранением. URL: <https://www.vshouz.ru/news/minzdrav/wcs-19782> (дата обращения: 02.02.2026).

2. Miles D. Macroeconomic impacts of changes in life expectancy and fertility // *The Journal of the Economics of Ageing*. 2023. Vol. 24. DOI: 10.1016/j.jeoa.2022.100425.

3. Кетова К. В., Вавилова Д. Д. Демографические проблемы современной Удмуртии : монография. Ижевск : Изд-во УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2022. 172 с. ISBN 978-5-7526-0994-7.

4. Лаптева И. П., Гришина Е. Н. Проблемы и перспективы роста ожидаемой продолжительности жизни населения России // *Вестник Челябинского государственного университета*. 2024. № 12 (494). С. 29–38. DOI:10.47475/1994-2796-2024-494-12-29-38.

5. Tadeparti S.V., Ramadhenu V., Vemuri J.P. Shapley-Based Comparative Analysis of Predictive Models for Life Expectancy Across Multiple Regions. *Proceedings of the 1st Engineering Data Analytics and Management Conference (EAMCON 2025)*, 2025. P. 440–448. DOI:10.2991/978-94-6463-978-0_38.

6. Антипин И. А., Чиркова И. А. Демографическая ситуация в сельских муниципальных образованиях как индикатор социально-экономического развития Удмуртской Республики // *Вестник Удмуртского университета. Сер. Экономика и право*. 2025. Т. 35, № 4. С. 660–668. DOI:10.35634/2412-9593-2025-35-4-660-668.

7. Егоров Д. Б., Захаров С. Д., Егорова А. О. Современные методы анализа и прогнозирования временных рядов и их применение в медицине // *Врач и информационные технологии*. 2020. № 1. С. 21–26.

8. Моделирование уровня заболеваемости болезнями органов дыхания населения Приморского края / А. Г. Гузенко, А. Г. Кучерова, С. В. Кучерова, В. В. Ващенко // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2024. № 9-3 (96). DOI: 10.24412/2500-1000-2024-9-3-158-162.

9. Шубин Л. Л., Гумеров Р. Р., Хайрутдинова И. Б. Заболеваемость населения Удмуртской Республики злокачественными новообразованиями за 2018–2023 годы // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2024. № 9-5 (96). С. 139–143. DOI: 10.24412/2500-1000-2024-9-5-139-143.

10. Быкова А. В. Общественное здоровье как объект инвестиций: методические основы оценки и моделирования // *Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление*. 2022. № 1 (101). С. 41–52.

11. Chudo S. B., Terdik G. Modeling and Forecasting Time-Series Data with Multiple Seasonal Periods Using Periodograms // *Econometrics*. 2025. Vol. 13, No. 2. P. 14. DOI:10.3390/econometrics13020014.

12. Kouame Amos B., Smirnov I.V. Determinants Factors in Predicting Life Expectancy Using Machine Learning // *Advanced Engineering Research*. 2022. Vol. 22, No. 4. P. 373–383. DOI:10.23947/2687-1653-2022-22-4-373-383.

13. Carannante M., D'Amato V., Di Palo C. Prolonging life by vitagions: Modelling of mortality improvement shocks // *Insurance: Mathematics and Economics*. 2026. Vol. 126. P. 103198. DOI:10.1016/j.insmatheco.2025.103198.

14. Hall S.G., Tavlas G.S., Wang Y., Gefang D. Inflation forecasting with rolling windows: An appraisal // *Journal of Forecasting*. 2024. Vol. 43, No. 4. P. 827–851. DOI:10.1002/for.3059.

15. Гафарова Е. А., Добикова Д. В. Фрактальный подход к прогнозированию экономических кризисов // *Экономика и экологический менеджмент*. 2012. № 1. С. 110–121.

16. Зубарев Н. Ю., Федулова Д. Д. Прогнозирование демографических показателей в сфере рождаемости населения: инерционный прогноз Versus прогноз на основе машинного обучения // *Искусство управления*. 2021. № 13 (2). С. 204–221. DOI: 10.17072/2218-9173-2021-2-204-221.

17. Вавилова Д. Д., Кетова К. В. Информационно-аналитическая система анализа региональных социально-экономических процессов на основе комплексного использования динамических моделей различных типов // *Прикладная информатика*. 2023. Т. 18, № 4 (106). С. 97–110. DOI 10.37791/2687-0649-2023-18-4-97-110.

18. Медико-организационный анализ заболеваемости, распространенности и смертности при злокачественных новообразованиях (по данным Удмуртской Республики) / С. А. Багин, Д. И. Кича, О. В. Рукодачный, Р. С. Голощапов-Аксенов // *Медицина и организация здравоохранения*. 2025. № 10 (3). С. 62–71. DOI: 10.56871/МНСО.2025.99.61.006.

References

1. [The long-term effect of social, educational, and health expenditures on indicators of life expectancy: an empirical analysis for the OECD countries]. Available at: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11688634/> (accessed 10.11.2025).

2. Miles D. [Macroeconomic impacts of changes in life expectancy and fertility]. *The Journal of the Economics of Ageing*, 2023, vol. 24. DOI 10.1016/j.jeoa.2022.100425.

3. Ketova K.V., Vavilova D.D. Demograficheskie problemy sovremennoi Udmurtii: monografiya [Demographic Problems of Modern Udmurtia: monograph]. Izhevsk, Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov, 2022. 172 p. (in Russ.).

4. Lapteva I.P., Grishina E.N. Problemy i perspektivy rosta ozhidaemoi prodolzhitel'nosti zhizni naseleniya Rossii [Problems and prospects of growth in life expectancy of the Russian population]. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2024, no. 12, pp. 29–38 (in Russ.). DOI 10.47475/1994-2796-2024-494-12-29-38.

5. Tadeparti S.V., Ramadhenu V., Vemuri J.P. Shapley-Based Comparative Analysis of Predictive Models for Life Expectancy Across Multiple Regions. *Proceedings of the 1st Engineering Data Analytics and Management Conference (EAMCON 2025)*, 2025, P/ 440–448. DOI:10.2991/978-94-6463-978-0_38.

6. Antipin I.A., Chirkova I.A. Demograficheskaya situatsiya v sel'skikh munitsipal'nykh obrazovaniyakh kak indikator sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Udmurtskoi Respubliki [Demographic situation in rural

municipalities as an indicator of the socio-economic development of the Udmurt Republic]. Bulletin of the Udmurt University. Series Economics and Law, 2025, vol. 35, no. 4, pp. 660–668 (in Russ.). DOI 10.35634/2412-9593-2025-35-4-660-668

7. Egorov D.B., Zakharov S.D., Egorova A.O. Sovremennye metody analiza i prognozirovaniya vremennykh ryadov i ikh primenenie v meditsine [Modern methods of time series analysis and forecasting and their application in medicine]. Vrach i informatsionnye tekhnologii, 2020, no. 1, pp. 21–26 (in Russ.).

8. Guzenko A.G., Kucherova A.G., Kucherova S.V., Vashchenko V.V. Modelirovanie urovnya zabolevaemosti boleznyami organov dykhaniya naseleniya Primorskogo kraia [Simulation of population morbidity by respiratory diseases in Primorye Territory]. International Journal of Humanities and Natural Sciences, 2024, no. 9-3, pp. 158–163 (in Russ.). DOI 10.24412/2500-1000-2024-9-3-158-162.

9. Shubin L.L., Gumerov R.R., Khairutdinova I.B. Zabolevaemost' naseleniya Udmurtskoi Respubliki zlokachestvennymi novoobrazovaniyami za 2018-2023 gody [Morbidity of the population of the Udmurt Republic by malignant neoplasms in 2018-2023]. Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk, 2024, no. 9-5, pp. 139–143 (in Russ.). DOI 10.24412/2500-1000-2024-9-5-139-143.

10. Bykova A.V. Obshchestvennoe zdorov'e kak ob'ekt investitsii: metodicheskie osnovy otsenki i modelirovaniya [Public health as an investment object: methodological foundations of assessment and modeling]. Izvestiya Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta. Ekonomika i upravlenie, 2022, no. 1, pp. 41–52 (in Russ.).

11. Chudo S. B., Terdik G. Modeling and Forecasting Time-Series Data with Multiple Seasonal Periods Using Periodograms. Econometrics. 2025. Vol. 13, No. 2. P. 14. DOI:10.3390/econometrics13020014.

12. Kouame Amos B., Smirnov I.V. Determinants Factors in Predicting Life Expectancy Using Machine Learning. Advanced Engineering Research. 2022. Vol.

22, No. 4. P. 373–383. DOI:10.23947/2687-1653-2022-22-4-373-383

13. Carannante M., D'Amato V., Di Palo C. Prolonging life by vitagions: Modelling of mortality improvement shocks // Insurance: Mathematics and Economics. 2026. Vol. 126. P. 103198. DOI:10.1016/j.jinsmatheco.2025.103198.

14. Hall S.G., Tavlas G.S., Wang Y., Gefang D. Inflation forecasting with rolling windows: An appraisal. Journal of Forecasting. 2024. Vol. 43, No. 4. P. 827–851. DOI:10.1002/for.3059.

15. Gafarova E.A., Dobikova D.V. Fraktal'nyj podhod k prognozirovaniyu ekonomicheskikh krizisov [Fractal approach to exchange crisis forecasting]. Ekonomika i ekologicheskii menedzhment, 2012, no. 1, pp. 110–121 (in Russ.).

16. Zubarev N.Yu., Fedulova, D.D. Prognozirovanie demograficheskikh pokazatelei v sfere rozhdaiemosti naseleniya: inertsionnyi prognoz Versus prognoz na osnove mashinnogo obucheniya [Forecasting fertility demographic indicators: Inertial method versus machine learning method]. Ars Administrandi, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 204–221 (in Russ.). DOI 10.17072/2218-9173-2021-2-204-221.

17. Vavilova D.D., Ketova K.V. Informatsionno-analiticheskaya sistema analiza regional'nykh sotsial'no-ekonomicheskikh protsessov na osnove kompleksnogo ispol'zovaniya dinamicheskikh modelei razlichnykh tipov [Information and analytical system for the analysis of regional socio-economic processes based on the integrated use of dynamic models of various types]. Journal of Applied Informatics, 2023, vol. 18, no. 4, pp. 97–110 (in Russ.). DOI 10.37791/2687-0649-2023-18-4-97-110.

18. Bagin S.A., Kicha D.I., Rukodainyi O.V., Goloshchapov-Aksenov R.S. Mediko-organizatsionnyi analiz zabolevaemosti, rasprostranennosti i smertnosti pri zlokachestvennykh novoobrazovaniyakh (po dannym Udmurtskoi Respubliki) [Medical organizational analysis of cancer morbidity, prevalence and mortality (Udmurt Republic data based)]. Meditsina i organizatsiya zdravookhraneniya, 2025, vol. 10, no. 3, pp. 62–71 (in Russ.). DOI 10.56871/MHCO.2025.99.61.006.

* * *

A Study of the Factors Driving the Dynamics of Life Expectancy and its Forecasting by means of Mathematical Models

D. D. Vavilova, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
M. N. Krasnoperova, Student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

The article is devoted to the analysis of indicators affecting life expectancy based on statistical data from the Udmurt Republic. The influence of factors was studied using methods of primary, correlation, and regression analysis. Mathematical models were constructed to describe the relationship between life expectancy and a number of social and economic indicators, including the mortality rate, total morbidity, the incidence of neoplasms, diseases of the circulatory system and nervous system, the number of hospital beds, the number of doctors and people with disabilities, and consolidated budget expenditures on healthcare. Based on the quality indicators of the constructed models, the most accurate multiple regression model was selected. It was revealed that life expectancy has an inverse relationship with the mortality rate and a directly proportional relationship with the number of hospital beds. A moderate positive correlation was found between specific investments in healthcare and life expectancy. The analysis of public health

indicators in the Udmurt Republic was carried out in the context of its municipal districts. The most favorable demographic situation is observed in the central and southern districts of the Republic adjacent to the capital, while in the northern and peripheral districts, minimum life expectancy values and maximum mortality rates are recorded, which correlates with the distance from the regional center (the correlation coefficient between the distance to Izhevsk and the affecting life expectancy is -0.62). The dynamics of life expectancy in the Udmurt Republic up to 2030 was forecasted. Using the sliding window method, the most probable (at the 95% significance level) dynamics of life expectancy was determined, projecting it to reach 72.74 years by 2030. The results obtained can be used to assess the effectiveness of the healthcare system, plan resource allocation, and for further research into the relationship between public health and the social and economic development of the region.

Keywords: modeling, forecast, Udmurt Republic, life expectancy, mortality, birthrate, morbidity, investments in healthcare.

Получено: 02.03.26

Образец цитирования

Вавилова Д. Д., Красноперова М. Н. Исследование факторов динамики ожидаемой продолжительности жизни и ее прогнозирование на основе математических моделей // Интеллектуальные системы в производстве. 2026. Т. 24, № 2. С. 25–34. DOI: 10.22213/2410-9304-2026-2-25-34.

For Citation

Vavilova D.D., Krasnoperova M.N. [A Study of the Factors Driving the Dynamics of Life Expectancy and its Forecasting by means of Mathematical Models]. *Intellectual'nyesistemy v proizvodstve*. 2026, vol. 24, no. 2, pp. 25-34 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2026-2-25-34.