

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОЖИДАЕМОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ В БЕЛАРУСИ

Ю.Е.Разводовский, В.Ю.Смирнов

Гродненский государственный медицинский университет,  
ул. М.Горького, 80, 230009, г. Гродно, Республика Беларусь

*Изучена возможность прогнозирования ожидаемой продолжительности жизни при рождении (ОПЖ) в Беларуси с помощью анализа временных серий, охватывающих период с 1960 по 2015 гг. Анализ показал, что реальные темпы роста показателя ОПЖ после 2010 г., как для мужчин, так и для женщин, значительно превосходили прогнозные темпы роста, полученные с помощью экстраполяции временных рядов. Представленные данные косвенно свидетельствуют о том, что значительный рост ОПЖ после 2010 г. является следствием успешной реализации Национальной программы демографической безопасности Республики Беларусь на 2011–2015 годы.*

*Ключевые слова: временные серии; прогнозирование; ожидаемая продолжительность жизни при рождении (ОПЖ); Беларусь.*

Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (ОПЖ) является важнейшим демографическим показателем и признанным индикатором качества жизни и здоровья населения [1–3]. ОПЖ при рождении показывает количество лет, которое проживет новорожденный, если условия для сохранения жизни, существующие на момент его рождения, останутся неизменными на всем протяжении его жизни [1]. Продолжительность жизни зависит от многих факторов – образа жизни, уровня доходов, воспитания и образования человека, наследственности, уровня загрязнения окружающей среды, качества питания, развития системы здравоохранения, уровня преступности и многих других [4, 5]. Поэтому очевидно, что показатель ОПЖ является критерием эффективности социально-демографической политики государства.

Прогнозирование уровня различных медико-социальных параметров представляет собой актуальную научно-практическую задачу, поскольку позволяет планировать лечебно-профилактические мероприятия. Одним из перспективных методов прогнозирования является анализ временных рядов, который в настоящее время часто используется с целью экстраполятивного прогнозирования [6]. Существуют лишь единичные работы, посвященные прогнозированию ОПЖ в бывших советских республиках [7, 8]. В одной из них был дан прогноз, согласно которому ОПЖ в Беларуси к 2030 г. составит 68,6 лет для мужчин и 80,4 лет для женщин [7].

Цель настоящей работы – изучение возможности прогнозирования показателя ОПЖ в Беларуси с помощью анализа временных рядов.

В настоящее время существует множество методик прогнозирования: статистические методы, методы на основе машинного обучения и прецедентов, методы на базе фильтрации, математическое моделирование [6]. В зависимости от сроков прогнозирования и доступной статистики целесообразно использовать те или иные подходы. Большинство методов прогнозирования являются экстраполятивными и основаны на использовании выявленных закономерностей поведения временного ряда [9].

Прогнозные данные могут быть рассчитаны на основе предыдущих значений, например, путем простого усреднения. Такой способ прогнозирования предполагает, что ежегодно процесс носит неизменный характер, и наблюдения в течение каждого нового года – следующая реализация одного и того же случайного процесса. Если в динамике присутствует отчетливый тренд, учесть его можно с помощью поточечных линейных оценок. Тогда наблюдения, соответствующие одному и тому же промежутку времени, не усредняются, а аппроксимируются прямой линией [9].

Задача регрессии заключается в нахождении оценок неизвестных параметров и формировании функциональной зависимости между исследуемыми параметрами и их факторами. Среди регрессионных моделей выделяют две группы: неадаптивные модели, для оценки параметров которых используются все имеющиеся данные, и адаптивные модели, значения параметров которых рассчитываются на основе скользящего окна наблюдений. Вид регрессионной зависимости для не-

адаптивной модели выбирается исходя из свойств анализируемого временного ряда [9].

В авторегрессионных моделях измерения временного ряда часто представляются в виде  $y_t = \mu + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_t + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}$ .

Здесь  $\mu$  – «уровень» случайного процесса,  $\phi_j$  и  $\theta_j$  – неизвестные параметры, а  $\varepsilon_j$  – случайные импульсы невязок модели (распределенные нормально с нулевым математическим ожиданием и постоянной дисперсией). Приведенное выражение называют смешанной моделью авторегрессии – скользящего среднего (АРСС) порядка  $(p, q)$ . АРСС описывают только стационарные временные ряды.

В редких случаях можно применять АРСС для краткосрочного прогнозирования, но чаще требуется преобразование анализируемого временного ряда. Общепринятым для этих целей является взятие разности  $y_t - y_{t-1}$ . Такая модель представляет процесс авторегрессии – проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС) порядка  $(p, d, q)$ .

Наконец, при исследовании сезонных процессов с периодом  $T$  измерения временного ряда связывают не только с последними наблюдениями, но и с наблюдениями, выполненными  $T$  моментов времени назад. Для этого модель дополняют соответствующими множителями [10].

Идентификация определения порядка  $(p, d, q)(P, D, Q)_T$  – сезонной (мультипликативной) модели АРПСС на практике бывает достаточно сложна и неоднозначна. Автоматические процедуры идентификации моделей, обычно связанные с анализом автокорреляций при различных лагах, упрощают применение АРПСС, но не всегда позволяют достичь оптимальных результатов.

Часто возникает потребность учета воздействия внешнего события на последовательность наблюдений (и, соответственно, прогноз). В общем случае нужно оценивать воздействия одного или нескольких дискретных событий на значения ряда. Различают следующие три типа воздействий: 1) устойчивое скачкообразное, 2) устойчивое постепенное, 3) скачкообразное временное. При скачкообразном устойчивом воздействии общее среднее ряда просто сдвигается после интервенции. Постоянное устойчивое воздействие приводит к постепенному устойчивому увеличению или уменьшению значений ряда после интервенции. Скачкообразное временное воздействие приводит к тому, что в течение интервенции в ряде наблюдается резкий отрицательный или положительный скачок значений, который постепенно уменьшается и не приводит к устойчивому изменению среднего ряда. Такой учет внешних воздействий реализуется в методе прерванных временных рядов АРПСС [10].

АРПСС подходит как для краткосрочного, так и для долгосрочного прогнозирования. При необходимости расширенные модели АРПСС позволяют учитывать влияние внешних факторов. Многие временные ряды не могут строго удовлетворять требованию стационарности, что влечет за собой неточности при применении АРСС. Кроме того, для оценки параметров АРПСС необходимо достаточно большое количество наблюдений [16].

В настоящей работе с целью прогнозирования динамики показателя ОПЖ в Беларуси на основании анализа закономерностей поведения временного ряда с 1960 по 2015 гг. использован метод АРПСС. Показатель ОПЖ представлен согласно данным Национального статистического комитета Республики Беларусь. Статистическая обработка данных проводилась с помощью программного пакета «STATISTICA» в модуле «Анализ временных рядов».

Графические данные, представленные на рис. 1 и 2, свидетельствуют о схожей динамике показателя ОПЖ мужчин и женщин. В течение рассматриваемого периода данный показатель был подвержен значительным колебаниям: снижался в 70-х гг. прошлого века; существенно вырос в середине 1980-х гг.; резко снизился в 1990-х гг., достигнув «дна» в 1999 г.; существенно вырос в течение первого десятилетия нынешнего века; резко вырос в течение последних пяти лет рассматриваемого периода (в период с 2011 по 2015 гг. ОПЖ мужчин и женщин выросла соответственно на 3,9 года (с 64,9 до 68,6 лет) и на 2,2 года (с 76,7 до 78,9 лет). В результате этого роста, показатель ОПЖ мужчин в Беларуси достиг уровня 1960-х гг., а показатель ОПЖ женщин достиг максимума за весь период наблюдения. Однако, несмотря на более быстрые темпы роста показателя ОПЖ мужчин, отмечавшиеся в последние годы, разница между показателем ОПЖ мужчин и женщин в рассматриваемый период увеличилась с 6,7 до 10,7 лет.

Анализ автокорреляционной и частной автокорреляционной функций тренда ОПЖ мужчин показал монотонное убывание коэффициентов автокорреляции, а также наличие одного выходящего за границы доверительного интервала коэффициента частной автокорреляции на первом лаге. Формально из этого следует выбор модели АРПСС с одним параметром авторегрессии после взятия разностей 1-го порядка. Однако применение такой модели для данного временного ряда дало статистически незначимую оценку коэффициента авторегрессии.

Анализ остатков после взятия разности 1-го порядка по первому лагу показал наличие выбро-

сов в 1976, 1984–1985, 1999–2000 гг. и «прогиб» графика в период с 1990 по 1995 гг. В этой ситуации целесообразно использование АРПСС с интервенциями. Эта задача сводится к выбору: а) срока интервенции, который может быть получен на основании анализа графика остатков, и б) типа интервенции: скачкообразное устойчивое (характеризуемое величиной  $\omega$  сдвига среднего значения ряда), постепенное устойчивое (Воздействие( $t$ ) =  $\omega + \delta \cdot$ Воздействие( $t-1$ )) и скачкообразное временное (Воздействие =  $\omega$  в момент интервенции, далее Воздействие( $t$ ) =  $\delta \cdot$ Воздействие( $t-1$ )). Нами выбрана модель с интервенциями в 1984, 1991 и 1999 гг. Тип интервенций выбирался по нескольким критериям: минимизация среднеквадратической оценки остатков (MS Остаток), отсутствие выбросов коэффициентов автокорреляции и частной автокорреляции во всем периоде наблюдений.

Для прерванной АРПСС (1,1,0) наилучшая модель получена при введении скачкообразных устойчивых интервенций в 1976, 1984, 1993 и 2000 гг. (табл. 1). Из приведенных данных следует, что все рассчитанные параметры модели отличаются высокой достоверностью. Анализ остатков модели АРПСС с интервенциями показал значительное снижение ряда выбросов по сравнению с моделью без интервенций, что, вкпе с отсутствием статистически достоверных коэффициентов

авторегрессии и частной авторегрессии и нормальностью распределения остатков, обеспечивает стационарность полученной модели временного ряда. На рис. 1 представлен прогноз значений ОПЖ мужчин в период 2010–2020 гг., выполненный на основании полученной модели. Реальный тренд ОПЖ мужчин в период 2010–2015 гг. превышает прогнозный, выходя за рамки 90%-ного доверительного интервала.

Анализ автокорреляционной и частной автокорреляционной функций тренда ОПЖ женщин, как и в случае временного ряда ОПЖ мужчин, показал монотонное убывание коэффициентов автокорреляции и наличие одного значимого коэффициента частной автокорреляции на первом лаге. Формально из этого следует выбор модели АРПСС с одним параметром авторегрессии после взятия разностей 1-го порядка, однако, как и для мужчин, такая модель дала статистически незначимую оценку коэффициента авторегрессии, и далее ана-



Рис. 1. Прогноз ОПЖ мужчин на основании результатов прерванной АРПСС (1,1,0)

Таблица 1

**Итоговая таблица прерванной авторегрессии – проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС) для ожидаемой продолжительности жизни (ОПЖ) мужчин, модель (1,1,0)**

	Параметры	Р	Границы 95%-ного доверительного интервала	Интервенции	
				№ набл. (год)	Тип
АР	0,467	0,00195	0,181; 0,752		
$\omega_1$	-1,00	0,00151	-1,60; -0,40	19(1976)	Скачкообразная устойчивая
$\omega_2$	1,40	0,000022	0,804; 1,99	27(1984)	Скачкообразная устойчивая
$\omega_3$	-0,755	0,0166	-1,37; -0,14	36(1993)	Скачкообразная устойчивая
$\omega_4$	1,62	0,000004	1,00; 2,24	43(2000)	Скачкообразная устойчивая

лизовалась модель с параметрами авторегрессии и скользящего среднего.

Оценка параметров АРПСС (1,1,1) показала, что параметр авторегрессии не достигает требуемого уровня значимости, а анализ графика остатков этой модели показал наличие значительных выбросов в 1984–1986, 1992–1994 и 1999–2001 гг. В этой ситуации целесообразно использование АРПСС с интервенциями. Наиболее оптимальная модель получена при выборе скачкообразных устойчивых интервенций в 1984, 1986 и 1993 гг. и скачкообразных временных интервенций – в 1999 и 2000 гг. В табл. 2 приведены результаты оценки параметров модели. Наглядно продемонстрировано, что большинство рассчитанных параметров

модели отличаются высокой достоверностью. Анализ остатков показал как снижение выбросов, так и нормальность их распределения, что обеспечивает стационарность расчетной модели временного ряда. На рис. 2 представлен прогноз тренда ОПЖ женщин в период 2010–2015 гг., выполненный на основании данной модели. Очевидно, что регистрируемый в период 2010–2015 гг. реальный тренд превышает прогнозный, выходя за рамки (или находясь на границе) 90%-ного доверительного интервала.

Таким образом, реальные темпы роста показателя ОПЖ после 2010 г., как для мужчин, так и для женщин, значительно превосходили прогнозные темпы роста, полученные с помощью экстраполяции временных рядов

в настоящем исследовании, а также темпы роста, предсказанные в предыдущем исследовании [7]. Представленные данные косвенно свидетельствуют в пользу того, что значительный рост ОПЖ после 2010 г. является следствием успешной реализации Национальной программы демографической безопасности Республики Беларусь на 2011–

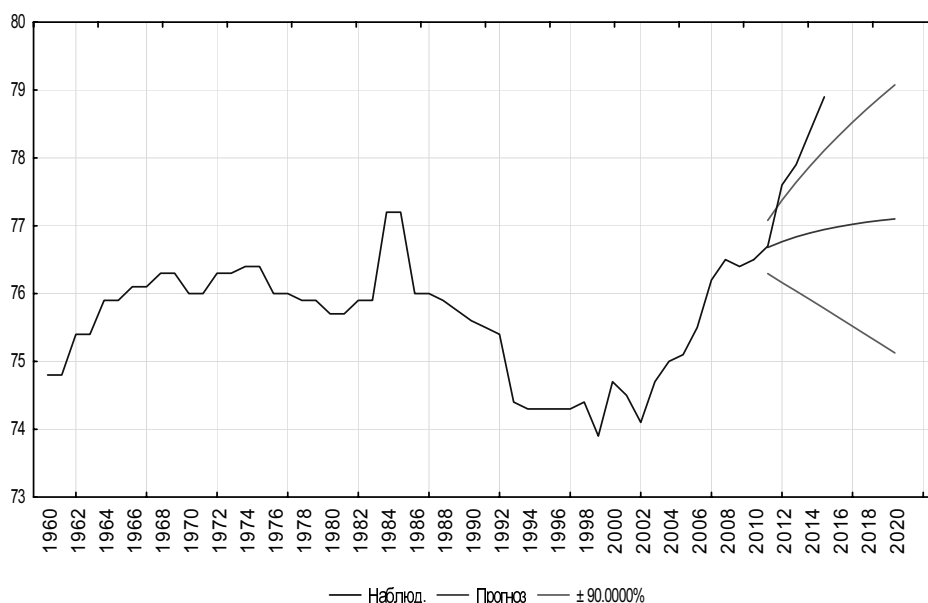


Рис. 2. Прогноз ОПЖ женщин на основании результатов прерванной АРПСС (1,1,1)

Таблица 2

**Итоговая таблица прерванной авторегрессии – проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС) для ожидаемой продолжительности жизни (ОПЖ) женщин, модель (1,1,1)**

	Параметры	Р	Границы 95%-ного доверительного интервала	Интервенции	
				№ набл. (год)	Тип
АР	0,857	0,000025	0,492; 1,22		
СС	0,681	0,004617	0,222; 1,14		
$\omega_1$	1,31	0,000001	0,841; 1,78	27 (1984)	Скачкообразная устойчивая
$\omega_2$	-1,17	0,000010	-1,64; -0,703	29 (1986)	Скачкообразная устойчивая
$\omega_3$	-0,956	0,000183	-1,43; -0,487	36 (1993)	Скачкообразная устойчивая
$\omega_4$	-0,589	0,011693	-1,04; -0,138	42 (1999)	Скачкообразная временная
$\delta_4$	0,868	0,000006	0,529; 1,21		
$\omega_5$	0,663	0,001426	0,272; 1,05	43 (2000)	Скачкообразная временная

2015 годы. Кроме того, учитывая существование прямой связи между показателем ОПЖ и объемом валового внутреннего продукта [5, 11], рост ОПЖ после 2010 г. в Беларуси в определенной степени мог быть обусловлен макроэкономической стабилизацией. Внешние причины смерти наряду с болезнями системы кровообращения имели наибольшее влияние на изменение показателя ОПЖ в последние десятилетия [12–15]. Поэтому социальная политика, направленная на снижение уровня смертности от этих причин, в особенности среди мужчин, позволила бы существенно сократить отставание показателя ОПЖ в Беларуси от аналогичного показателя в экономически более развитых странах. Результаты настоящего исследования также свидетельствуют о том, что антиалкогольная кампания середины 80-х гг. прошлого века, а также социально-экономический кризис, вызванный распадом Советского Союза, имели долгосрочное влияние на динамику показателя ОПЖ в Беларуси. Настоящее исследование наглядно продемонстрировало ограничения, с которыми сталкиваются исследователи, пытаясь прогнозировать динамику ОПЖ путем экстраполяции закономерностей поведения тренда. Реализация Национальной программы демографической безопасности Республики Беларусь на 2011–2015 годы явилась интервенцией, в значительной степени скорректировавшей динамику ОПЖ, которая стала существенно отличаться от тренда, предсказанного на основании предшествовавшей динамики временного ряда.

#### Литература

1. Андреев, Е.М. 40 лет снижения продолжительности жизни россиян. Ч.1 / Е.М.Андреев, А.Г.Вишневский // Демоскоп Weekly. – 2004. – №169–170.
2. Иванова, А.Е. Российская смертность в 1965–2002 гг.: основные проблемы и резервы снижения / А.Е.Иванова, В.Г.Семенова, Н.С.Гаврилова, Г.П.Евдокушкина, Л.А.Гаврилов // Общественное здоровье и профилактика заболеваний. – 2004. – №1. – С.20–30.
3. Семенова, В.Г. Обратный эпидемиологический переход в России / В.Г.Семенова. – М.: ЦСП, 2005. – 235 с.
4. Кулак, А.Г. Оценка динамики ожидаемой продолжительности жизни населения / А.Г.Кулак // Вестник Белорусского государственного экономического университета. – 2012. – №5. – С.49–57.
5. Bilas, V. Determinant factors of life expectancy at birth in the European Union countries / V.Bilas, S.Franc, M.Bosjak // Collections of Anthropology. – 2014. – Vol.38, No.1. – P.1–9.
6. Booth, H. Mortality modeling and forecasting: A review of methods / H.Booth, L.Tickle // ADSRI Working Paper. – 2008. – No.3.
7. Тихонова, Л.Е. Продолжительность жизни населения Беларуси как фактор динамики уровня человеческого развития / Л.Е.Тихонова, Л.В.Фокеева // Социологические исследования. – 2014. – №5. – С.104–111.
8. Разводовский, Ю.Е. Прогнозирование ожидаемой продолжительности жизни с помощью анализа временных серий / Ю.Е.Разводовский, В.Ю.Смирнов // Собириология. – 2016. – №1. – С.71–81.
9. Кондратьев, М.А. Методы прогнозирования и модели распространения заболеваний / М.А.Кондратьев // Компьютерные исследования и моделирование. – 2013. – Т.5, №5. – С.863–882.
10. Box, G.E.P. Time Series Analysis: forecasting and control / G.E.P.Box. – London: Holden-Day Inc., 1976.
11. Разводовский, Ю.Е. Алкогольная ситуация в Беларуси в контексте алкогольной политики / Ю.Е.Разводовский // Вопросы организации и информатизации здравоохранения. – 2016. – №1. – С.35–42.
12. Разводовский, Ю.Е. Комплексный анализ алкогольной ситуации в Беларуси / Ю.Е.Разводовский // Вопросы организации и информатизации здравоохранения. – 2010. – №2. – С.10–16.
13. Razvodovsky, Y.E. Alcohol attributable mortality in Belarus / Y.E.Razvodovsky // Alcoholism. – 2012. – Vol.48, No.1. – P.13–22.
14. Разводовский, Ю.Е. Алкоголь и смертность от сердечно-сосудистых заболеваний / Ю.Е.Разводовский // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2002. – №5. – С.18–21.
15. Razvodovsky, Y.E. Alcohol and cardiovascular mortality: epidemiological aspects / Y.E.Razvodovsky // Alcologia. – 2001. – No.13. – P.107–113.

#### FORECASTING OF LIFE EXPECTANCY IN BELARUS

Yu.E.Razvodovsky, V.Yu.Smirnov

Grodno State Medical University, M.Gorkiy Str. 80, 230009, Grodno, Republic of Belarus

The research paper tests the possibility of forecasting of life expectancy (LE) in Belarus for the period from 1960 to 2015. The analysis shows that the real expansion rate of LE for males and females after the year 2010 is greatly exceeded the expected expansion rates. The research results indirectly suggest that the substantial LE increase after the year 2010 was the consequence of successful implementation of National program of demographic security of the Republic of Belarus for the period from 2011 to 2015.

Keywords: time series; forecasting; life expectancy at birth; Belarus.

#### Сведения об авторах:

**Разводовский Юрий Евгеньевич**, УО «Гродненский государственный медицинский университет», кафедра патологической физиологии, ассистент; тел.: (+375152) 701884; e-mail: razvodovsky@tut.by.

**Смирнов Виталий Юрьевич**, канд. биол. наук, доцент; УО «Гродненский государственный медицинский университет», научно-исследовательская лаборатория, старший научный сотрудник; тел.: (+375152) 432661; e-mail: vit\_sm@mail.ru.

Поступила 26.01.2017 г.