

© ДОНЦОВ В.И., 2021

Донцов В.И.

Изменения смертности, продолжительности жизни и скорости старения в XX веке и возможные причины этого

ФГБУ Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, 117312, Москва, Россия

Введение. Резкое постарение населения и связанные с этим медико-демографические и социально-экономические проблемы определяют повышенный интерес к проблеме старения.

Цели исследования – изучить особенности и причины изменения возрастной смертности, продолжительности жизни (ПЖ) и старения в России во второй половине XX в. в сравнении с другими странами. **Материал и методы.** Использовали таблицы дожития Human Mortality Database для оценки ожидаемой и максимальной ПЖ; скорость старения вычисляли по компонентам формулы Гомперца–Мейкема и приращению общей интенсивности смертности, строили графики стандартными средствами программы Microsoft Office Excel и разработанной нами компьютерной программы «Старение популяций».

Результаты. До середины XX в. резкое повышение ПЖ не сопровождалось значимыми изменениями скорости старения, но затем при относительно незначительном повышении ПЖ скорость старения резко снизилась. Замедление старения отмечено для всех исследованных стран (от 12 до 36 стран для разных доступных исторических периодов), для всех исследованных параметров старения и прогрессирует до конца изучаемого периода. Для России начавшееся одновременно с другими странами снижение скорости старения в 1960–1970-х гг. замедлилось и восстановилось лишь к 2000 г.

Обсуждение. Улучшение условий жизни и успехи здравоохранения ведут к увеличению доли пожилых людей в структуре населения, однако эти же процессы снижают скорость индивидуального старения. Улучшение медико-социальной помощи пенсионерам снижает уровень их смертности, но производит феномен отсроченной смертности в более поздних возрастах (феномен инверсии общей интенсивности смертности долгожителей с пониженной на повышенную). Однако использование показателя приращения интенсивности смертности показывает, что снижение скорости старения для долгожителей сохраняется.

Заключение. Выявленные тенденции к изменению смертности полезны для разработки направлений профилактического и социально-медицинского воздействия на здоровье населения.

Ключевые слова: старение; формула Гомперца–Мейкема; скорость старения; смертность; изменение смертности в истории

Для цитирования: Донцов В.И. Изменения смертности, продолжительности жизни и скорости старения в XX веке и возможные причины этого. *Здравоохранение Российской Федерации.* 2021; 65(1): 17-23. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2021-65-1-17-23>

Для корреспонденции: Донцов Виталий Иванович, доктор мед. наук, вед. науч. сотр. отдела системного анализа и информационных технологий в медицине и экологии Института системного анализа ФГБУ «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, 117312, Москва. E-mail: dontsovv@mail.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 28.01.2020

Принята в печать 21.04.2020

Опубликована 05.03.2021

Vitaliy I. Dontsov

Changes in mortality, life expectancy and the rate of aging in the XX century: possible causes

Federal Research Center «Computer Science and Control», Moscow, 119333, Russian Federation

Introduction. The rapid aging of the world and Russian population and the associated medical, demographic, and socioeconomic problems determine the increased interest in the issue of aging.

Aim and objectives. To study the features and causes of changes in age-related mortality, life expectancy (LE), and aging in Russia in the second half of the XX century compared to other countries.

Material and methods. We used the *Human Mortality Database* survival tables to estimate the expected and maximum life expectancy. The aging rate was calculated using the Gompertz–Makeham formula and the increment of total mortality. Graphs were built using Microsoft Office Excel's standard tools and the computer program *Aging of Populations* developed by us.

Results. Until the middle of the XX century, significant aging rate changes did not accompany a sharp increase in LE. Later with a relatively small increase in LE, it decreases sharply. Deceleration of aging was observed for all studied countries (from 12 to 36 for different available historical periods) for all studied parameters and progresses to the end of the studied period. For Russia, the decline in the aging rate that began simultaneously with other countries in 1960–1970's slows down and is restored only by 2000.

Discussion. Improvements in living conditions and health outcomes lead to an increase in the proportion of the elderly population structure. However, these same processes reduce the rate of individual aging. Improving medical and social care for retired people reduces their mortality rate. Still, it produces a phenomenon of delayed mortality in later ages (the phenomenon of inversion of centenarians' total mortality – from reduced

to increased). Nevertheless, the use of the mortality rate increment indicator shows that the decline in the aging rate for centenarians persists.

Conclusion. The identified trends in mortality are useful for developing areas of preventive and socio-medical impact on the population's health.

Keywords: aging; Gompertz-Makeham formula; aging rate; mortality; mortality changes in history

For citation: Dontsov V.I. Changes in mortality, life expectancy and the rate of aging in the XX century: possible causes. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii (Health Care of the Russian Federation, Russian journal)*. 2021; 65(1): 17-23. (In Russ.). <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2021-65-1-17-23>

For correspondence: Vitaly I. Dontsov, MD, lead researcher of the Department 102 of Institute for Systems Analysis, Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences. Moscow, 117312, Russian Federation. E-mail: dontsovvi@mail.ru

Information about the author: Dontsov V.I., <https://orcid.org/0000-0002-2234-4715>

Acknowledgments. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

Received: January 28, 2020

Accepted: April 21, 2020

Published: March 05, 2021

Введение

Сущность старения – снижение общей жизнеспособности организма человека, в том числе трудоспособности, что делает увеличение доли старых людей и скорости старения важными вопросами для врачей и социальных служб [1, 2]. Для геронтологов, в отличие от демографов, концентрирующихся на показателях продолжительности жизни (ПЖ), важны изменения показателей скорости старения, определяемых на основе анализа интенсивности смертности стандартной когорты по формуле Гомперца–Мейкема, которая, как принято считать, отражает собственно процессы старения организма. Остаются предметом споров ряд важных вопросов: о биологических пределах ПЖ человека [3–6], изменении скорости старения в истории и увеличении максимальной ПЖ [7–10], вопросы снижения скорости старения долгожителей [11, 12] и влияния на процесс старения внешних условий [13–15].

Основным средством для изучения вопросов ПЖ и скорости старения, составляющих основу популяционной геронтологии, является исследование интенсивности по возрастной смертности для стандартной когорты (100 тыс. человек) [16]. Ранее мы показали сложную динамику смертности населения России во второй половине XX в. для различных возрастов и тенденцию к понижению скорости старения для средне-старших возрастов [17].

Цель настоящего исследования – изучение на основе анализа по возрастной смертности изменений ПЖ и скорости старения для разных стран в XX в. и особенности этого процесса для России, а также возможные причины этого.

Материал и методы

Для исследования использовали Human Mortality Database [18], представляющую данные таблиц дожития за каждый год жизни с историческим периодом 10 лет для 40 стран с 1751 по 2014 г. (с различным интервалом доступности для разных стран). Определяли демографические показатели ПЖ: ожидаемая продолжительность предстоящей жизни при рождении и максимальная ПЖ как предельный возраст вымирания стандартной когорты).

Для вычислений компонентов формулы Гомперца–Мейкема, значений интенсивности смертности m и ее приращения dm , а также для построения графиков при-

меняли стандартные средства программы Microsoft Office Excel и разработанную нами компьютерную программу «Старение популяций». Строили в логарифмическом масштабе график изменения общей по возрастной интенсивности смертности и ее приращения, а также интенсивности смертности без внешнего компонента $m-A$ в период 1–110 лет с 10-летними интервалами и рассчитывали показатели формулы Гомперца–Мейкема [19]:

$$m = A + Ro \exp(k \times t),$$

где A – константа, показатель внешних влияний на смертность; Ro и k – коэффициенты, определяющие биологическую природу смертности и отражающие собственно скорость старения; t – возраст, годы.

Адекватность расчетной и истинной смертности оценивали по коэффициенту корреляции (r).

Результаты

С начала XX в. ПЖ постоянно растет: для 12 стран, данные которых доступны с 1900 г. к 2000 г. ожидаемая ПЖ увеличилась более чем на 29 лет (с $50,3 \pm 3,7$ до $79,6 \pm 1,3$ года; $p < 0,001$), при этом основной прирост наблюдался в первой половине XX в. (до $71,8 \pm 1,7$ года к 1960 г.). В то же время показатель максимальной ПЖ увеличивался главным образом во второй половине XX в.: с $106,3 \pm 1,5$ года в 1900 г. до $109,2 \pm 1,0$ года к 1960 г. и до $111,5 \pm 0,7$ года к 2000 г. (всего на 5,3 года или 4,9% за 100 лет).

Показатели скорости старения также увеличились главным образом во второй половине XX в. Для 65-летних жителей 12 стран, по которым имеются данные с 1900 г. (Бельгия, Дания, Англия, Финляндия, Франция, Исландия, Италия, Нидерланды, Норвегия, Шотландия, Швеция и Швейцария), снижение параметра $m-A$ за 100 лет к 2000 г. составило в среднем 2,79 раза (с $0,0313 \pm 0,0070$ до $0,0112 \pm 0,0019$; $p < 0,001$); аналогично для параметра dm – в среднем в 2,76 раза (с $0,00273 \pm 0,00058$ до $0,00099 \pm 0,000026$; $p < 0,001$). Снижение было тем больше, чем выше был начальный уровень старения в 1900 г.: $r = -0,51$ для параметра dm . Для доступных 36 стран с 1960 по 2000 г. для 65-летних жителей снижение параметра $m-A$ за 40 лет составило в среднем 1,51 раза (с $0,0227 \pm 0,0030$ до $0,0150 \pm 0,0064$; $p < 0,001$); аналогично для параметра dm – в среднем 1,81 раза (с $0,0020 \pm 0,00026$ до $0,0011 \pm 0,00003$; $p < 0,001$).

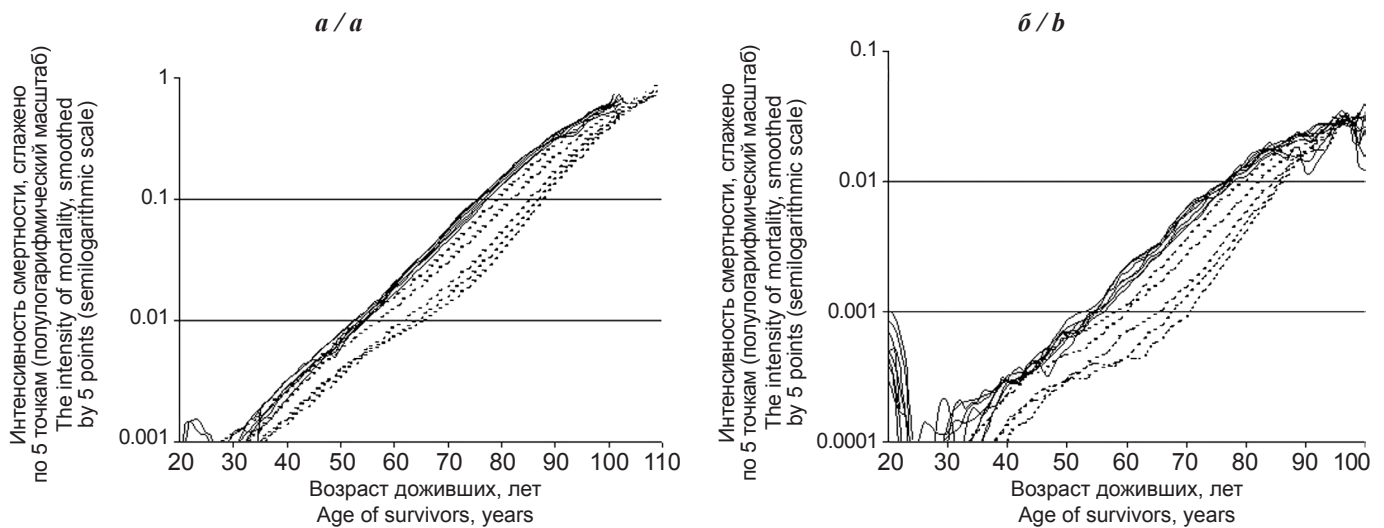


Рис. 1. Скорость старения населения Франции.
a – смертность без фонового компонента (*m-A*); *b* – приращение интенсивности смертности (*dm*).
Сплошные линии – 1850, 1870, 1890, 1900, 1910, 1920, 1930 и 1940 гг.; пунктирные – 1950, 1970, 1990, 2000 и 2010 гг.

Fig. 1. The rate of aging of the French population.
a – mortality without background component (*m-A*); *b* – increment of mortality intensity (*dm*).
Solid lines – 1850, 1870, 1890, 1900, 1910, 1920, 1930 and 1940; dotted lines – 1950, 1970, 1990, 2000 and 2010.

С середины XX в. снизился также компонент *k* формулы Гомперца–Мейкема, отражающий экспоненциально растущую интенсивность смертности с возрастом, что принято за основную характеристику скорости старения: если для 12 стран он составлял в 1920 г. $0,106 \pm 0,008$, то к 1970 г. он равнялся $0,095 \pm 0,005$ ($p < 0,001$): снижение более чем на 10%. Корреляция коэффициента *k* с текущим годом, на примере истории Франции, за 1900–1940 гг. отсутствует (коэффициент детерминации $R^2 = 0,21$), тогда как с 1950 г. корреляция становится высокосignификантной ($R^2 = 0,88$). Для 36 стран с 1960 по 2000 г. коэффициент *k* снизился с $0,099 \pm 0,006$ на 11,2% до $0,089 \pm 0,014$ ($p < 0,001$). В начале XXI в. коэффициент *A* во многих странах стал отрицательным, а коэффициент *k*, отражающий скорость старения, уменьшился в наибольшей степени. Аналогично снизился коэффициент *R*₀, отражающий базовый уровень старения, – для 12 стран с 1900 г. к 2000 г. – в 2,6 раза. За это же время показатель внешних влияний на интенсивность смертности – коэффициент *A* – уменьшился в 24 раза.

Графики общей интенсивности смертности *m* выражено различаются для стран и исторических периодов, однако это связано с условиями жизни, что отражает константа Мейкема *A*, тогда как скорость старения оказывается сходной для разных стран и времен. На примере Франции, для которой имеются достоверные данные с 1850-х гг., видно (рис. 1, верхние сплошные линии), что скорость старения была одинакова в истории страны вплоть до середины XX в., хотя, как известно, общая интенсивность смертности резко изменилась за 100 лет.

На рис. 2 показаны графики изменения параметра *dm* во второй половине XX в. в истории 30 стран для возраста 55 лет. Практически во всех странах в 1970-х гг. показатель скорости старения снижался с последующим постоянным снижением к концу века. Для России и стран постсоветского пространства, однако, начальное снижение сменилось ростом, и лишь к концу XX в. произошел

возврат к тенденции снижения скорости старения, характерной для других стран.

На рис. 3 представлены изменения скорости старения для России в 1960–1980 гг. Заметно резкое снижение скорости старения в 1980 г. для возрастов 35–65 лет. Также видно последующее повышение смертности, отмеченное нами ранее как «феномен отложенной смертности» [17],

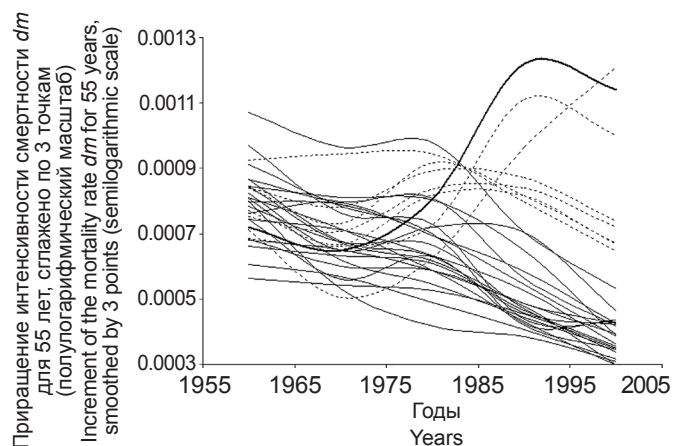


Рис. 2. Изменения скорости старения для 30 стран во второй половине XX в.

Пунктирные линии – страны постсоветского пространства (Венгрия, Латвия, Литва, Словакия, Чехия, Украина, Эстония), жирная линия – Россия. Остальные страны: Австралия, Австрия, Бельгия, Канада, Дания, Англия и Уэльс, Финляндия, Франция, Исландия, Италия, Япония, Люксембург, Нидерланды, Новая Зеландия, Норвегия, Польша, Португалия, Шотландия, Испания, Швеция, Швейцария, США.

Fig. 2. Changes in the rate of aging for 30 countries in the second half of the twentieth century.

The dotted line – the countries of the post-Soviet space (Hungary, Latvia, Lithuania, Slovakia, Czech Republic, Ukraine, Estonia), Russia – with a bold line. Other countries: Australia, Austria, Belgium, Canada, Denmark, England and Wales, Finland, France, Ireland, Italy, Japan, Luxembourg, Netherlands, New Zealand, Norway, Poland, Portugal, Scotland, Spain, Sweden, Switzerland, The United States of America.

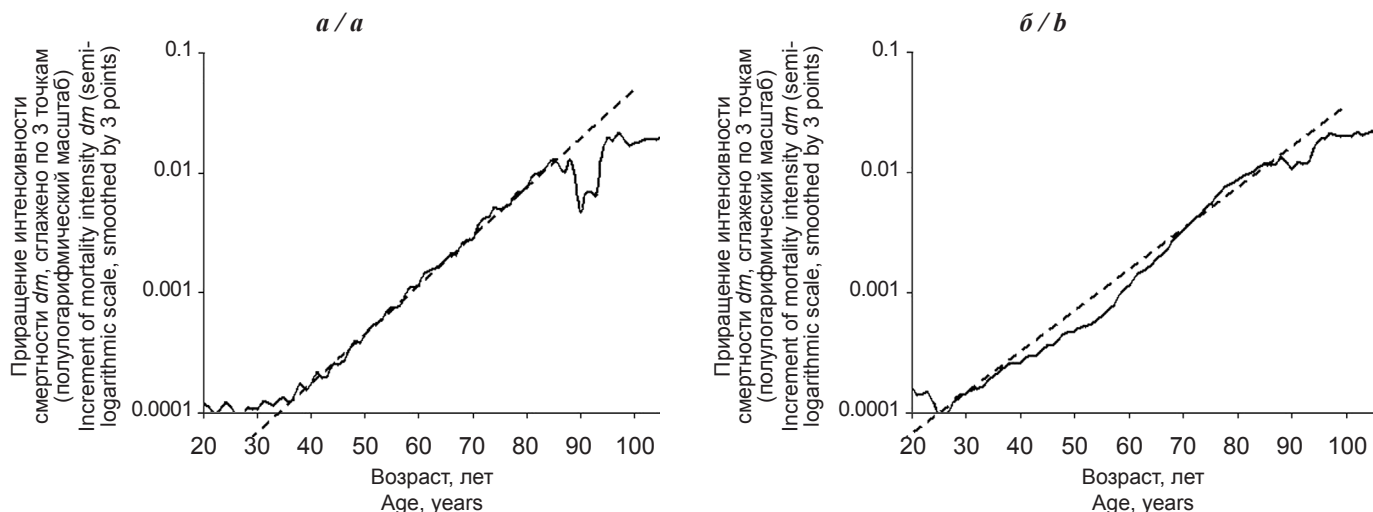


Рис. 3. Изменения скорости старения для России во второй половине XX в: *a* – 1960 г.; *b* – 1980 г.

Пунктирная линия – теоретическая прямая, показывающая, как должна изменяться скорость старения при равномерном повышении с возрастом: отклонения от прямой реальной скорости старения на фрагменте *b* наглядно показывают главные особенности возрастных изменений скорости старения к 1980 г.

Fig. 3. Changes in the rate of aging for Russian Federation in the second half of the twentieth century: *a* – 1960; *b* – 1980.

The dashed line is a theoretical straight line showing how the aging rate should change with a uniform increase with age: deviations from the direct real rate of aging in Figure 3B clearly show the main features of age-related changes in the rate of aging by 1980.

и снижение скорости старения, типичное для возрастов долгожителей. Дальнейшая тенденция изменений скорости старения отражена в **таблице**.

В 1970–1979 гг. резко изменились показатели старения: появилось резкое и длительное снижение *dm*, одновременно степень снижения скорости старения для возрастов, предшествующих долгожителям, снизилась (на примере отклонения *dm* от прямой сравнения для 90-летних). Однако затем до 1990–1999 гг. выраженность снижения скорости старения, как и размах затрагиваемых возрастов, уменьшилась; при этом максимум снижения сдвинулся в старшие возраста – с 54 до 59 лет (на 5 лет).

Однако в 2000–2009 гг. вновь увеличилось снижение *dm* и размах затрагиваемых снижением возрастов. При этом максимальный возраст сдвига *dm* еще больше уходил в старшие возраста, а инверсия *dm* для возрастов долгожителей на примере 90-летних уже превышала теоретические расчеты.

По времени начала и выраженности снижения показателей старения 12 стран, отмеченных ранее, могут быть расположены в следующем примерном порядке: Исландия, Швейцария, Нидерланды, Дания, Франция, Швеция, Бельгия, Италия, Англия, Финляндия, Норвегия (Шотландия не представлена в данных, обсуждаемых ниже).

Для выяснения связи степени снижения скорости старения с уровнем жизни мы использовали несколько показателей для стран в конце XX в.:

- внутренний валовой продукт на душу населения, тыс. долларов США;
- Индекс человеческого развития, учитывающий ожидаемую ПЖ, уровень грамотности населения (среднее число лет, потраченных на обучение) и уровень жизни по покупательной способности населения (публикуется в рамках Программы развития ООН в ежегодных отчётах о развитии человеческого потенциала с 1990 г.);

Особенности изменения скорости старения для Российской Федерации в середине XX века

Features of changes in the aging rate in Russian Federation during the mid-twentieth century

Показатель Indicator	Год Year				
	1960	1970	1980	1990	2000
Максимум снижения в возрасте, лет Maximum reduction in age, years	Нет No	54	57	59	64
Параметр <i>dm</i> снижения на максимуме The magnitude of the <i>dm</i> decrease at the maximum	Нет No	0.00032	0.00026	0.00022	0.00750
Границы снижения, лет Reduction limits, years	Нет No	37–68	57–72	54–70	50–72
Размах снижения, лет The magnitude of the decline, years	Нет No	31	20	16	22
Снижение <i>dm</i> для 90-летних The decrease in <i>dm</i> for a 90-year-old	-0.0152	-0.0071	-0.0044	-0.0040	+ 0.0060

- Индекс процветания Института Legatum (The Legatum Prosperity Index) – комбинированный показатель, который измеряет достижения стран мира с точки зрения их благополучия и процветания, выпускается с 2006 г. британским аналитическим центром The Legatum Institute (подразделение международной инвестиционной группы Legatum). Индекс составляется на основе множества показателей, объединённых в 9 категорий, которые отражают различные аспекты жизни общества и параметры общественного благосостояния: качество экономики, развитие бизнеса, качество управления, обучение, здоровье, безопасность, личные свободы, социальный капитал и экология.

Средний уровень корреляции со скоростью снижения старения удалось найти только для уровня здравоохранения ($r = 0,411$); умеренную корреляцию – для экономического развития страны: внутреннего валового продукта на душу населения ($r = 0,393$) и показателя качества экономики для Индекса процветания ($r = 0,353$). В то же время высокая корреляция наблюдается для уровня здравоохранения с показателем экономического развития Индекса процветания ($r = 0,723$) и с внутренним валовым продуктом на душу населения ($r = 0,788$), что можно интерпретировать как то, что главным в снижении скорости старения является уровень развития здравоохранения, который зависит от вкладываемых средств. Обращает внимание, что все страны имеют достаточно высокий Индекс человеческого развития: выше 0,90 (для Италии 0,89). Таким образом, для снижения скорости старения важны прежде всего успехи здравоохранения.

Обсуждение

На протяжении почти 200 лет, со времени определения Гомперцом, экспоненциального нарастания смертности с возрастом [20], затем дополненной Мейкемом, основным инструментом оценки скорости старения для геронтологов остается график повозрастной интенсивности смертности для изучаемой популяции, несмотря на новые модели и основанные на них теоретические графики старения популяций [20–24]. В настоящее время формулу Гомперца–Мейкема можно получить, исходя из теоретических представлений о сущности старения [25, 26]. Для оценки скорости старения можно использовать следующие показатели: интенсивность смертности без фонового внешнего компонента (A), не зависящего от старения ($m-A$); коэффициент экспоненты (k), определяющий скорость нарастания смертности, зависящей от старения; коэффициент, определяющий начальный уровень смертности (Ro); приращение интенсивности смертности (dm), которое нивелирует константу A , при этом показатель dm лучше отражает собственно скорость старения, чем $m-A$, т.к. в последнем случае используется среднее значение A , которая в реальности может значительно меняться для различных возрастных периодов. Наконец, снижение скорости старения позволяет дожить до более поздних возрастов, что позволяет для оценки старения учитывать возраст вымирания стандартной когорты – максимальную ПЖ.

Исследования графиков дожития стандартной когорты для разных стран и преобразований Гомперца–Мейкема, как и показателя приращения интенсивности смертности, позволило оценить изменение ПЖ и скорости старения в XX в.

Однако, если резкие изменения ПЖ наблюдаются прежде всего в первой половине XX в., то резкие изменения скорости старения – во второй половине XX в.

На смертность и ПЖ влияет, прежде всего, средний относительный заработок, что служит ориентировочным показателем социально-экономического статуса [27, 28], чем и определяется, видимо, увеличение ПЖ в первой половине XX в. По данным нашего исследования, снижение скорости старения, однако, удается связать лишь с уровнем развития здравоохранения.

Для России особенности снижения скорости старения могут быть обусловлены изменениями в социально-политической жизни страны, прямо отражающимися на состоянии здравоохранения. В 1970–1980-х гг. реформа здравоохранения, направленная на массовую диспансеризацию учащихся и работающих, а также экономические успехи и бурное движение за здоровый образ жизни привели, как и в других странах, к снижению скорости старения на значительном возрастном периоде (прежде всего для работающих возрастов). Но затем в 1980–1990-е гг. эта тенденция уменьшилась на фоне изменений здравоохранения, экономики и политики. Стабилизация социально-политической обстановки в конце XX – начале XXI в. вновь восстановила тенденции снижения скорости старения, характерные для всего мира. Это сопровождалось и типичными изменениями ПЖ для России: с 1960 по 2000 г. постоянно снижались ожидаемая и максимальная ПЖ (особенно это заметно для 1990 г.), однако, по данным Росстата, к 2014 г. все негативные тенденции нивелировались и наблюдался уверенный рост ПЖ [29, 30].

Внимание биологов старения и геронтологов привлекает в настоящее время повышение смертности для возраста долгожителей: если в более ранние периоды истории скорость нарастания смертности в возрасте долгожителей снижалась (кривая отклонялась вниз от расчетной) до возможного выхода на плато для ряда стран [11], как и для России в 1960–1970-х гг., то с 1990 г. смертность в возрасте долгожителей превышает расчетную (отклонение кривой вверх). Снижение смертности в пожилом возрасте, особенно в возрасте долгожителей, является общей характеристикой кривых выживания со времени доступных регулярных демографических данных [11], однако в настоящее время этот феномен подвергается сомнению, т.к. в ряде стран он не наблюдается [12].

До четверти различий в ПЖ объясняют генетическими факторами [31–33]; наличие в когорте долгожителей с замедленной скоростью старения ведет к видимому снижению скорости старения в старших возрастах: это результат гетерогенности популяции [32, 33]. Видимо, для изменения смертности в этом возрасте имеет значение характерный для России конца XX в. феномен отсроченной смертности пенсионеров – снижение приращения интенсивности смертности (скорости старения) с последующим повышением в возрастах, предшествующих возрасту долгожителей. Вероятно, этот феномен и приводит к инверсии общей смертности для возрастов долгожителей (с пониженной на повышенную), т.к. в возрасте долгожителей увеличивается доля обычных лиц с повышенной смертностью. Феномен отложенной смертности обычных лиц от последствий заболеваний (полиморбидность в пожилом возрасте) позволяет им дожить до возраста долго-

жителей, но при этом полиморбидность повышает общую смертность в возрасте долгожителей. График приращения интенсивности смертности, однако, обнаруживает снижение скорости старения и здесь.

В литературе обсуждается влияние внешних условий на скорость старения [13–15]. Мы предложили взгляд на старение, связывающий патологические изменения, наблюдаемые при собственно старении, с изменениями при обычных заболеваниях [34], что влияет на общую жизнеспособность. Тогда лечение и профилактика заболеваний могут сказываться на скорости биологического старения.

Заключение

До середины XX в. резкое повышение ПЖ жителей всех стран не сопровождалось значимыми изменениями скорости старения, в то же время во второй половине XX в., при относительно незначительном повышении ПЖ, скорость старения резко снизилась, в основном для средне-старших возрастов. Замедление старения отмечено для всех исследованных стран, для всех исследованных параметров старения, прогрессируя до конца изучаемого периода.

Вероятной причиной является значительное улучшение медико-социальной помощи и качества жизни с середины XX в., а также возможное влияние терапии хронических заболеваний на механизмы собственно старения.

Показателей скорости старения для России отстают от таковых для других стран и возвращаются к общим тенденциям лишь в конце XX в.

ЛИТЕРАТУРА

- Ильичева Ю.В., Колотова С.А. Влияние демографических процессов на производительность общественного труда. *Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России*. 2014; 3(3): 49–54. <https://doi.org/10.12737/4879>
- Смирнова Т.М., Крутько В.Н. Историческая динамика смертности и ее учет в целях стратегического планирования медицинской и социальной помощи пожилым. *Клиническая геронтология*. 2018; 24(9-10): 63–5.
- Brown N.J.L., Albers C.J., Ritchie S.J. Contesting the evidence for limited human lifespan. *Nature*. 2017; 546(7660): E6-E7. <https://doi.org/10.1038/nature22778>
- Dong X., Milholland B., Vijg J. Evidence for a limit to human lifespan. *Nature*. 2016; 538(7624): 257–9. <https://doi.org/10.1038/nature19793>
- Lenart A., Vaupel J.W. Questionable evidence for a limit to human lifespan. *Nature*. 2017; 546(7660): E13-E4. <https://doi.org/10.1038/nature22790>
- Skiadas C.H. Remarks on «Limits to Human Lifespan». In: Skiadas C., Skiadas C., eds. *Demography and Health Issues. The Springer Series on Demographic Methods and Population Analysis. Volume 46*. Cham: Springer; 2018; 46: 15–30. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76002-5_2
- De Beer J., Bardoutsos A., Janssen F. Maximum human lifespan may increase to 125 years. *Nature*. 2017; 546(7670): E16-E7. <https://doi.org/10.1038/nature22792>
- Gavrilov L.A., Krut'ko V.N., Gavrilova N.S. The future of human longevity. *Gerontology*. 2017; 63(6): 524–6. <https://doi.org/10.1159/000477965>
- Kinsella K.G. Future longevity-demographic concerns and consequences. *J. Am. Geriatr. Soc.* 2005; 53(9 Suppl.): 299–303. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53494.x>
- Zuo W., Jiang S., Guo Z., Feldman M.W., Tuljapurkar S. Advancing front of old-age human survival. *PNAS*. 2018; 115(44): 11209–14. <https://doi.org/10.1073/pnas.1812337115>
- Barbi E., Lagona F., Marsili M., Vaupel J.W., Wachter K.W. The plateau of human mortality: Demography of longevity pioneers. *Science*. 2018; 360(6396): 1459–61. <https://doi.org/10.1126/science.aat3119>
- Gavrilov L.A., Gavrilova N.S., Krut'ko V.N. New evidence that protective effects of familial longevity expire at older ages. Theses of the IAGG 2017 World Congress (July 23-27, 2017). San Francisco, California. *Innov. Aging*. 2017; 1(Suppl. 1): 896. <https://doi.org/10.1093/geroni/igx004.3215>
- Griffin R.M., Hayward A.D., Bolund E., Maklakov A.A., Lummaa V. Sex differences in adult mortality rate mediated by early life environmental conditions. *Ecol. Lett.* 2018; 21(2): 235–42. <https://doi.org/10.1111/ele.12888>
- Finch C.E. Evolution of the human lifespan and diseases of aging: roles of infection, inflammation, and nutrition. *PNAS*. 2010; 107(1): 1718–24. <https://doi.org/10.1073/pnas.0909606106>
- Ribeiro A.I., Krainski E.T., Carvalho M.S., De Fátima de Pina M. The influence of socioeconomic deprivation, access to healthcare and physical environment on old-age survival in Portugal. *Geospat. Health*. 2017; 12(2): 581. <https://doi.org/10.4081/gh.2017.581>
- Canudas-Romo V., Mazucco S., Zanotto L. Measures and Models of Mortality. In: *Handbook of Statistics. Volume 39*. Elsevier; 2018: 405–42. <https://doi.org/10.1016/bs.host.2018.05.002>
- Донцов В.И. Изменения смертности и скорости старения во второй половине XX столетия в России. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2019; 63(1): 42–7. <https://doi.org/10.18821/0044-197X-2019-63-1-42-47>
- The Human Mortality Database. Available at: <http://www.mortality.org>
- Gavrilov L.A., Gavrilova N.S. *The Biology of Life Span: A Quantitative Approach*. New York: Harwood Academic Publisher; 1991.
- Gompertz B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on the mode of determining the value of life contingencies. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. A*. 1825; 115: 513–85. <https://doi.org/10.1098/rstl.1825.0026>
- Cha J., Finkelstein M. On some mortality rate processes and mortality deceleration with age. *J. Math. Biol.* 2016; 72(1-2): 331–42. <https://doi.org/10.1007/s00285-015-0885-0>
- Yashin A.I., Ukraintseva S.V., De Benedictis G., Anisimov V.N., Butov A.A., Arbeeve K., et al. Have the oldest old adults ever been frail in the past? A hypothesis that explains modern trends in survival. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 2001; 56(10): B432–42.
- Kirkwood T.B. Deciphering death: a commentary on Gompertz (1825) 'On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies'. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 2015; 370(1666): 20140379. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0379>
- Olshansky S.J., Carnes B.A. Ever since Gompertz. *Demography*. 1997; 34(1): 1–15.
- Донцов В.И., Крутько В.Н. Старение: системный подход. *Труды Института системного анализа Российской академии наук*. 2017; 67(1): 104–12.
- Dontsov V.I. General System Theory of Aging. Special Role of the Immune System. Ridero; 2019.
- Kreiner C.T., Nielsen T.H., Serena B.L. Role of income mobility for the measurement of inequality in life expectancy. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2018; 115(46): 11754–9. <https://doi.org/10.1073/pnas.1811455115>
- Waldron H. Trends in mortality differentials and life expectancy for male social security-covered workers, by socioeconomic status. *Soc. Secur. Bull.* 2007; 67(3): 1–28.
- Хасанова Р. Смертность в России: о чем говорят данные 2017 г. *Экономическое развитие России*. 2018; 25(2): 64–8.
- Крутько В.Н., Смирнова Т.М. *Анализ тенденций смертности и продолжительности жизни населения России в конце XX века*. М.: URSS; 2002.
- Dato S., Rose G., Crocco P., Monti D., Garagnani P., Franceschi C., et al. The genetics of human longevity: an intricacy of genes, environment, culture and microbiome. *Mech. Ageing Dev.* 2017; 165(Pt. B): 147–55. <https://doi.org/10.1016/j.mad.2017.03.011>

32. Hayflick L. Entropy explains aging, genetic determinism explains longevity, and undefined terminology explains misunderstanding both. *PLoS Genet.* 2007; 3(12): e220. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.0030220>
33. Rossolini G., Piantanelli L. Mathematical modeling of the aging processes and the mechanisms of mortality: paramount role of heterogeneity. *Exp. Gerontol.* 2001; 36(8): 1277–88.
34. Krut'ko V.N., Dontsov V.I., Khalyavkin A.V., Markova A.N. Natural aging as a sequential poly-systemic syndrome. *Front. Biosci. (Landmark Ed.)* 2018; 23: 909–20. <https://doi.org/10.2741/4624>
16. Canudas-Romo V., Mazzuco S., Zanotto L. Measures and Models of Mortality. In: *Handbook of Statistics. Volume 39.* Elsevier; 2018: 405–42. <https://doi.org/10.1016/bs.host.2018.05.002>
17. Dontsov V.I. Changes of mortality and rate of aging in the second half of 20th century in Russia. *Zdravookhranenie Rossiyskoy Federatsii.* 2019; 63(1): 42–7. <https://doi.org/10.18821/0044-197Kh-2019-63-1-42-47> (in Russian)
18. The Human Mortality Database. Available at: <http://www.mortality.org>
19. Gavrillov L.A., Gavrillova N.S. *The Biology of Life Span: A Quantitative Approach.* New York: Harwood Academic Publisher; 1991.
20. Gompertz B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on the mode of determining the value of life contingencies. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. A.* 1825; 115: 513–85. <https://doi.org/10.1098/rstl.1825.0026>
21. Cha J., Finkelstein M. On some mortality rate processes and mortality deceleration with age. *J. Math. Biol.* 2016; 72(1-2): 331–42. <https://doi.org/10.1007/s00285-015-0885-0>
22. Yashin A.I., Ukraintseva S.V., De Benedictis G., Anisimov V.N., Butov A.A., Arbeev K., et al. Have the oldest old adults ever been frail in the past? A hypothesis that explains modern trends in survival. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 2001; 56(10): B432–42.
23. Kirkwood T.B. Deciphering death: a commentary on Gompertz (1825) 'On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies'. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 2015; 370(1666): 20140379. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0379>
24. Olshansky S.J., Carnes B.A. Ever since Gompertz. *Demography.* 1997; 34(1): 1–15.
25. Dontsov V.I., Krut'ko V.N. Aging: a system approach. *Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossiyskoy akademii nauk.* 2017; 67(1): 104–12. (in Russian)
26. Dontsov V.I. General System Theory of Aging. Special Role of the Immune System. Ridero; 2019.
27. Kreiner C.T., Nielsen T.H., Serena B.L. Role of income mobility for the measurement of inequality in life expectancy. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2018; 115(46): 11754–9. <https://doi.org/10.1073/pnas.1811455115>
28. Waldron H. Trends in mortality differentials and life expectancy for male social security-covered workers, by socioeconomic status. *Soc. Secur. Bull.* 2007; 67(3): 1–28.
29. Khasanova R. Mortality rate in Russia: what do the 2017 data mean? *Ekonomicheskoe razvitie Rossii.* 2018; 25(2): 64–8. (in Russian)
30. Krut'ko V.N., Smirnova T.M. *Analysis of Trends in Mortality and Life Expectancy of the Russian Population at the End of the XX Century [Analiz tendentsiy smertnosti i prodolzhitel'nosti zhizni naseleniya Rossii v kontse XX veka].* Moscow: URSS; 2002. (in Russian)
31. Dato S., Rose G., Crocco P., Monti D., Garagnani P., Franceschi C., et al. The genetics of human longevity: an intricacy of genes, environment, culture and microbiome. *Mech. Ageing Dev.* 2017; 165(Pt. B): 147–55. <https://doi.org/10.1016/j.mad.2017.03.011>
32. Hayflick L. Entropy explains aging, genetic determinism explains longevity, and undefined terminology explains misunderstanding both. *PLoS Genet.* 2007; 3(12): e220. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.0030220>
33. Rossolini G., Piantanelli L. Mathematical modeling of the aging processes and the mechanisms of mortality: paramount role of heterogeneity. *Exp. Gerontol.* 2001; 36(8): 1277–88.
34. Krut'ko V.N., Dontsov V.I., Khalyavkin A.V., Markova A.N. Natural aging as a sequential poly-systemic syndrome. *Front. Biosci. (Landmark Ed.)* 2018; 23: 909–20. <https://doi.org/10.2741/4624>

REFERENCES