

© ДОНЦОВ В.И., 2019

Донцов В.И.

ИЗМЕНЕНИЯ СМЕРТНОСТИ И СКОРОСТИ СТАРЕНИЯ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX СТОЛЕТИЯ В РОССИИ

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

Введение. Углубление медико-демографических проблем, связанных с резким постарением населения, является преградой для эффективного социально-экономического развития стран, определяя повышение интереса к проблеме старения. **Цель исследования** – изучение особенностей и причин изменения возрастной смертности в России во второй половине XX века.

Материал и методы. Для расчета компонентов формулы Гомперца, интенсивности смертности и ее приращения использовали таблицы дожития за 1960–2000 гг., программу Excel и разработанную компьютерную программу «Старение популяций»; адекватность расчетной (по формуле Гомперца) и истинной интенсивности смертности оценивали по коэффициенту корреляции (r).

Результаты. Полученные данные показывают наличие 4 этапов изменения смертности: снижение детской смертности, повышение смертности в трудоспособном возрасте (20–65 лет), одинаковая смертность людей пенсионного возраста (65–85 лет) и повышение смертности в возрасте долгожителей (с 90 лет).

Обсуждение. Улучшение медико-социальной помощи детям и пенсионерам позволило снизить детскую смертность и произвело феномен отсроченной смертности пенсионеров: уменьшилось приращение интенсивности смертности (скорости старения) в этом возрастном периоде. Последнее ведет к феномену инверсии общей смертности для возрастов долгожителей (с пониженной на повышенную). Однако использование вместо общей интенсивности смертности ее приращения позволяет сделать вывод, что снижение скорости старения для возрастов долгожителей сохраняется. Для трудоспособных возрастов смертность повышается. Очевидно, это связано с нарастающими стрессами и плохой экологией современных мегаполисов. В пенсионный период показатели интенсивности смертности выравниваются. Снижение внешнего компонента смертности формулы Гомперца делает график более линейным на протяжении большего возрастного периода (снижается вклад внешней компоненты Мейкема, константы, в экспоненциальную составляющую биологического старения).

Заключение. Обнаруженные тенденции к изменению смертности указывают направления 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 и скорости старения во второй половине XX столетия в России *Здравоохранение Российской Федерации*. 2019; 63(1): 42–47. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0044-197X-2019-63-1-42-47>

Dontsov V.I.

CHANGES OF MORTALITY AND RATE OF AGING IN THE SECOND HALF OF 20th CENTURY IN RUSSIA

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

Introduction. The deepening of medical and demographic problems associated with the sharp aging of the population is an obstacle to the effective socio-economic development of countries, determining the increased interest in the problem of aging. The aim of the study is to study the features and causes of changes in age mortality in Russia of the twentieth century.

Material and methods. Used a table of survival for the 1960–2000 years for Russia to calculate the components of the formula of Gompertz, the intensity of mortality and its increments, using the Excel program, and developed the computer program “Aging of populations”; the adequacy of the calculated (according to the Gompertz formula) and true mortality rate was estimated by the correlation coefficient (r).

Results. The data obtained clearly show the presence of 4 stages of mortality change: reduction of child mortality; increased mortality of working age (20–65 years); the same mortality of retirement ages (65–85 years); increased mortality in the ages of long-livers (from 85–90 years). Discussion. It can be concluded that the improvement of medical and social care for children and pensioners reduces child mortality and produces the phenomenon of “delayed mortality” of pensioners: reducing the intensity of mortality (the rate of aging) in this age period. The latter leads to the phenomenon of inversion of total mortality for ages of long-livers (from reduced to increased). Use instead of overall intensity of mortality of its increment leads to the conclusion however, that the decrease in the rate of ageing for the ages of centenarians persists. For working person age mortality is increasing, which is obviously due to the increasing stress and environmental difficulties of modern cities. During the

Для корреспонденции: Донцов Виталий Иванович, д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник 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: dontsovvi@mail.ru

pension period, mortality rates are equalized for all studied historical periods. The reduction of the external component of mortality of the Gompertz formula makes the graph more linear over a longer age period (the contribution of the external component of Makeham, the constant, to the exponential component of biological aging, decreases).

Conclusion. *The detected trends in mortality indicate the direction of preventive and socio-medical impact on the health of the population.*

Key words: *aging; Gompertz-Makeham formula; aging rate; mortality, mortality changes in history.*

For citation: Dontsov V.I. Changes of mortality and rate of aging in the second half of 20th century in Russia. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii (Health Care of the Russian Federation, Russian journal)*. 2019; 63 (1): 42-47. (In Russ.).

DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0044-197X-2019-63-1-42-47>

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

Information about author:

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

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

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

Received 25 February 2019

Accepted 05 March 2019

Введение

Углубление медико-демографических проблем, связанных с резким постарением населения в развитых странах мира, является одной из основных преград для эффективного социально-экономического развития и определяет повышение интереса к проблеме старения [1, 2]. Поскольку старение – это процесс снижения общей жизнеспособности, в том числе и трудоспособности, то увеличение доли старых людей и скорости старения в целом представляет практический интерес для врачей и социальных служб. При этом для геронтологов, в отличие от демографов, важны изменения скорости старения, основанные на анализе не графиков выживания популяции, а интенсивности смертности по формуле Гомперца–Мейкема, отражающей собственно процессы старения организма.

До сих пор остается предметом споров ряд важных вопросов, таких как биологический предел продолжительности жизни человека [3–6], изменение скорости старения в истории, увеличение параллельно средней и максимальной продолжительности жизни [7–10], снижение скорости старения в возрастах долгожителей [11, 12] и влияние на процесс старения внешних условий [13–15].

Решить эти вопросы, составляющие основу популяционной геронтологии, позволит исследование интенсивности смертности в течение жизни для когорты в 100 тыс. человек [16].

Цель исследования – изучение особенностей и возможных причин изменения возрастной смертности на протяжении всего жизненного цикла для России с 1960 по 2010 г.

Материал и методы

Изучены изменения возрастной интенсивности смертности в России во второй половине XX века. Для исследования использовали данные Human

Mortality Database [17] – таблицы дожития за каждый год жизни с историческим периодом 10 лет. Для вычисления компонентов формулы Гомперца–Мейкема, значений интенсивности смертности (m) и ее приращения (dm), а также для построения графиков применяли стандартные средства программы Excel Microsoft Office и разработанную нами компьютерную программу «Старение популяций: База Lx». Строили в логарифмическом масштабе изменение общей повозрастной интенсивности смертности и ее приращения, а также интенсивности смертности без внешнего компонента ($m-A$) в период 1 год – 110 лет с 10-летними интервалами и рассчитывали показатели формулы Гомперца–Мейкема, используя известные методы [18]:

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

где A – константа, показатель внешних влияний на смертность, Ro и k – коэффициенты определяющие биологическую природу смертности и отражающие собственно скорость старения. Также рассчитывали простую экспоненциальную аппроксимацию (формулу Гомперца) с коэффициентами Ro и k и строили график расчетной m .

Адекватность расчетной и истинной интенсивности смертности оценивали по коэффициенту корреляции (r); коэффициент корреляции рассчитывали на 10-летних возрастных периодах для оценки отклонения расчетной и истинной интенсивности смертности на данном возрастном периоде в течение жизненного цикла.

Результаты

Полученные графики интенсивности смертности за вторую половину XX века показали наличие 4 этапов (рис. 1):

- снижение детской смертности в течение всего наблюдаемого периода;

- повышение смертности для трудоспособного возраста (с 20 до 65 лет), особенно с 1990 г.;
- одинаковая смертность в пенсионном возрасте (с 65 до 85 лет);
- повышение смертности в возрасте долгожителей (с 90 лет), особенно с 1990 г.

Снижение детской смертности происходит параллельно со снижением компоненты «А» формулы Гомперца–Мейкема, отражающей улучшение медицинской помощи (общее снижение с $16,8 \cdot 10^{-4}$ в 1960-х гг. до $6,2 \cdot 10^{-4}$ в 2000-х гг.).

Повышение смертности в трудоспособном возрасте не связано с повышением скорости старения, как показано на рис. 2: приращение интенсивности смертности, отражающей скорость биологического старения, остается линейным.

Вклад константы «А» в общую смертность, повышающуюся с возрастом по экспоненте, быстро снижается и практически не заметен уже с возраста 40 лет (в 1950-х гг.) – 50 лет (в 2000-х гг.).

В России, как и в ряде других стран, наблюдается типичная динамика для возрастов долгожителей (рис. 2): инверсия смертности (с пониженной на повышенную) с 1960–1970-х к 1990–2000 гг.

Однако использование вместо общей интенсивности смертности ее приращения показывает, что снижение скорости старения в самых старших возрастах сохраняется (см. рис. 2) и сопровождается предварительным уменьшением скорости приращения старения с 65 по 85 лет с последующим повышением смертности (феномен отсроченной смертности), что, собственно, и затушевывает феномен снижения общей интенсивности смертности в возрасте долгожителей.

Коэффициент корреляции расчетной (за период 20–110 лет) и истинной интенсивности смертности составил 0,958–0,997 для 1960–2000 гг. В то же время расчет корреляций по 10-летним возрастным периодам выявил выраженное снижение для возраста

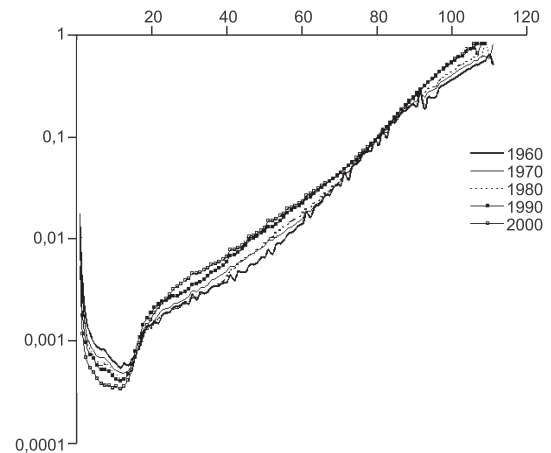


Рис. 1. Изменения интенсивности смертности в России за 1960–2000 гг.

По оси ординат – интенсивность смертности (логарифмический масштаб); по оси абсцисс – возраст, годы.

долгожителей: с 0,95 до 0,84 в 1990 г. и с 0,97 до 0,75 в 2000 г., что указывает на увеличение гетерогенности популяции и отклонение графика смертности от расчетного в наиболее старших возрастах.

Кроме того, с 1960 по 2000 г. постоянно снижаются средняя, ожидаемая и максимальная продолжительность жизни (особенно это заметно с 1990 г.). Однако по данным Росстата, к 2014 г. все негативные тенденции нивелируются и наблюдается уверенный рост средней, ожидаемой и максимальной продолжительности жизни [19].

Обсуждение

На протяжении 170 лет основным инструментом оценки скорости старения для геронтологов остается график повозрастной интенсивности смертности для изучаемой популяции. Хотя предлагаются все новые модели и теоретические графики старения популяций [20, 21], главными остаются предложенная еще в 1825 г. теория экс-

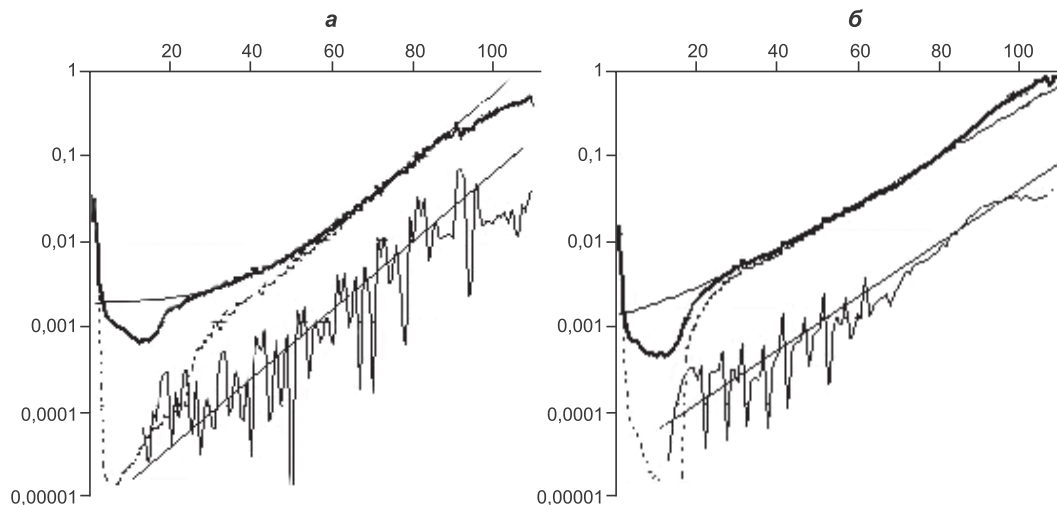


Рис. 2. Параметры смертности в России за 1960 г. (а) и 2000 г. (б). По оси ординат – интенсивность смертности (логарифмический масштаб); по оси абсцисс – возраст, годы. Сверху вниз: расчетная кривая интенсивности смертности (тонкая линия), реальная кривая m (жирная линия), биологическая составляющая интенсивности смертности ($m-A$, пунктирная линия), приращение смертности (dm , нижняя ломаная линия).

понижения нарастания смертности с возрастом [22] и лежащая в ее основе формула Гомперца. Модель Гомперца, дополненная константой Мейкема, учитывающей вклад в смертность не связанных со старением внешних влияний (формула Гомперца–Мейкема), стала мощным методом изучения закономерностей старения. Она основана на кривых смертности на протяжении жизни как у человека, так и у широкого круга разнообразных видов животных, и актуальна для изучения факторов, влияющих на процессы старения [23, 24].

Использование графиков интенсивности смертности и ее приращения позволяет наблюдать наряду с общими внешними влияниями на смертность населения изменения скорости самого старения с возрастом. Метод оценки приращения интенсивности смертности позволяет оценить изменение скорости старения на протяжении определенных возрастных периодов, что делает его более мощным, чем оценка компонентов по формуле Гомперца–Мейкема на протяжении всего жизненного периода.

Типичной на графике интенсивности смертности в принятом логарифмическом масштабе считается прямая в возрасте от окончания роста и развития (20 лет) до возраста долгожителей (90 лет) с последующим некоторым отклонением вниз для самых старших возрастов. Однако реально кривые смертности значительно изменяются с возрастом и в разные исторические периоды.

Исследование изменения смертности и скорости старения во второй половине XX века в России с использованием графиков интенсивности смертности и ее приращения позволило четко показать наличие 4 этапов возрастного изменения смертности: снижение детской смертности в течение всего наблюдаемого периода; повышение смертности для трудоспособного возраста (с 20 до 65 лет), особенно с 1990 г.; одинаковая смертность в пенсионном возрасте (с 65 до 85 лет); повышение смертности в возрасте долгожителей (с 90 лет), особенно с 1990 г.

Значительное улучшение медико-социальной помощи детям является безусловным фактором снижения детской смертности [25–27].

Большой практический интерес представляет повышение в течение всего изучаемого периода смертности людей трудоспособного возраста, отмеченное и ранее для России [25, 26]. В то же время график приращения интенсивности смертности не показывает увеличения скорости старения вплоть до возраста долгожителей для 1960–70-х гг. и до пенсионного возраста для 1990–2000 гг., что свидетельствует о внешнем характере причин повышения смертности. Это отмечают и другие авторы, отрицающие общее повышение скорости старения в России в XX веке и связывающие повышение смертности с 1990-х гг. с ухудшением условий жизни [28]. Так, на смертность и продолжительность жизни влияет средний относительный заработок мужчин, что служит приблизительным

показателем социально-экономического статуса [29, 30]. Очевидно, в трудоспособном возрасте смертность повышается в связи с нарастающими стрессами и информационной нагрузкой [31], экологическими трудностями в современных мегаполисах [32, 33], в частности с шумовым [34] и электромагнитным [35] загрязнением.

В пенсионном возрасте показатели интенсивности смертности выравниваются для всех изученных исторических периодов. При этом вклад компоненты внешней смертности (константы «А» Мейкема в формуле Гомперца–Мейкема) с возраста 65 лет минимален, т. е. в этот период изменения смертности отражают собственно биологическое старение организма.

Внимание биологов старения и геронтологов привлекает повышение в рассматриваемый исторический период 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 1960–70-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, так как в ряде стран он не наблюдается [12].

До четверти различий в продолжительности жизни объясняют генетическими факторами [36–38]; наличие в когорте долгожителей с замедленной скоростью старения ведет к видимому снижению скорости старения в старших возрастах: это результат гетерогенности популяции [2, 37, 39]. Видимо, для изменения смертности в этом возрасте имеет значение характерный для графиков России конца XX века 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), так как в возрасте долгожителей повышается доля обычных лиц с повышенной смертностью.

Замена графика интенсивности смертности на график приращения интенсивности смертности нивелирует константные значения внешних влияний и отражает собственно скорость биологического старения. В результате для конца XX века наблюдается пониженная скорость биологического старения в возрасте 55–80 лет с последующим повышением в начале возраста долгожителей, что и затушевывает в дальнейшем снижение скорости старения, характерное для долгожителей. При этом график приращения интенсивности смертности показывает, что

скорость старения в возрасте долгожителей снижается, несмотря на повышение общей интенсивности смертности. Такое снижение скорости старения в начале пенсионного возраста позволяет многим странам повысить пенсионный возраст, что важно для экономики в связи с резким постарением населения (увеличением доли пожилых людей).

Феномен отложенной смертности обычных лиц от последствий заболеваний (полиморбидность в пожилом возрасте) позволяет им дожить до возраста долгожителей, но при этом полиморбидность повышает смертность в возрасте долгожителей. Влияние внешних условий на скорость старения обсуждается в литературе [13–15]. Мы предложили взгляд на старение, связывающий патологические изменения, наблюдаемые при собственно старении, с изменениями при обычных заболеваниях [40], что влияет на общую жизнеспособность. Тогда лечение и профилактика заболеваний могут сказываться на скорости биологического старения, хотя в возрасте долгожителей за счет выраженного изменения физиологических показателей при естественном старении эти влияния нивелируются, а феномен отложенной смертности в ранних возрастах повышает ее в более поздние периоды, что приводит к видимому сдвигу кривых общей смертности вверх. В то же время кривые приращения интенсивности смертности все еще могут обнаружить снижение скорости старения для долгожителей.

Использование приращения интенсивности смертности дает возможность более подробно изучить изменения по возрастной смертности, чем использование коэффициентов Гомперца–Мейкема, так как позволяет оперативно отслеживать изменения смертности для определенных возрастов, а компоненты формулы Гомперца–Мейкема отражают изменение всей кривой смертности в целом.

Расчет корреляционных зависимостей расчетной и истинной интенсивности смертности по 10-летним возрастным периодам выявил выраженное снижение для возрастов долгожителей, что указывает на увеличение гетерогенности популяции и отклонение графика от расчетного.

Еще одно наблюдение типично для России, как и для других стран: выраженное снижение внешнего компонента смертности формулы Гомперца с 1960 к 2010 г., отражающего внешние влияния на смертность. Это делает график более линейным на протяжении большего возрастного периода (снижается вклад внешней компоненты в интенсивность смертности в целом).

Кроме того, с 1960 по 2000 г. постоянно снижаются средняя, ожидаемая и максимальная продолжительность жизни, особенно с 1990 г., что также связывают с влиянием внешних условий [26].

Заключение

Использование графиков интенсивности смертности и ее приращения позволяет наблюдать, наряду с общими внешними влияниями на смертность

населения, изменения скорости самого старения с возрастом. В 1960–2000 гг. улучшается медико-социальная помощь детям и пенсионерам, что снижает детскую смертность и производит феномен отсроченной смертности пенсионеров, но последнее ведет к феномену инверсии общей смертности возрастов долгожителей (с пониженной на повышенную). Однако использование вместо общей интенсивности смертности ее приращения позволяет сделать вывод, что снижение скорости старения для возрастов долгожителей сохраняется.

Для трудоспособных возрастов смертность повышается без изменения скорости старения. Очевидно, это связано с нарастающими стрессами и экологическими трудностями современных мегаполисов. В пенсионный период показатели интенсивности смертности выравниваются для всех изученных исторических периодов.

Снижение компонента внешней смертности формулы Гомперца делает график более линейным на протяжении большего возрастного периода (снижается вклад внешней компоненты Мейкема, константы, в экспоненциальную составляющую биологического старения).

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

(п.п. 3-18, 20-24, 27-30, 36-40 см. REFERENCES)

- 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.
- 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.
- 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.: УРСС; 2002.
- Школьников В.М. Население России: смертность, продолжительность жизни. *Социологический журнал*. 1995; (1): 167-74.
- Большаков А.М., Крутько В.Н., Кутепов Е.Н., Мамиконова О.А., Потемкина Н.С., Розенблит С.И. и др. Информационные нагрузки как новый актуальный раздел гигиены детей и подростков. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(2): 172-7. Doi: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-2-172-177>
- Малов А.М., Луковникова Л.В., Аликбаева Л.А., Якубова И.Ш., Щеголихин Д.К. Результаты биомониторинга ртутного загрязнения территории мегаполиса. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(12): 1189-94. Doi: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1189-1194>
- Малышева А.Г., Шелепова О.В., Водянова М.А., Донерьян Л.Г., Ушакова О.В., Юдин С.М. Эколого-гигиенические проблемы применения противогололедных реагентов в условиях крупного мегаполиса (на примере территории города Москвы). *Гигиена и санитария*. 2018; 97(11): 1032-7. Doi: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-11-1032-37>

34. Крийт В.Е., Сладкова Ю.Н., Смирнов В.В. Двухуровневые автомобильные мосты как особый источник шумового воздействия на жилую застройку на примере канонерского острова Санкт-Петербурга. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(12): 1162-5. Doi: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1162-1165>
35. Ященко С.Г., Рыбалко С.Ю., Шибанов С.Э., Григорьев О.А. Электромагнитная обстановка радиочастотного диапазона мобильной связи и заболеваемость взрослого населения болезнями системы кровообращения. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(12): 1184-8. Doi: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1184-1188>

REFERENCES

1. Il'icheva Yu.V., Kolotova S.A. Influence of demographic processes on the performance of social labor. *Upravlenie personalom i intellektual'nymi resursami v Rossii*. 2014; 3(3): 49-54. (in Russian)
2. Smirnova T.M., Krut'ko V.N. Historical dynamics of mortality and its accounting for the strategic planning of medical and social care for the elderly. *Klinicheskaya gerontologiya*. 2018; 24(9-10): 63-5. (in Russian)
3. Brown N.J.L., Albers C.J., Ritchie S.J. Contesting the evidence for limited human lifespan. *Nature*. 2017; 546: E6-7. Doi: <https://doi.org/10.1038/nature22728>
4. Dong X., Milholland B., Vijg J. Evidence for a limit to human lifespan. *Nature*. 2016; 538(7624): 257-9. Doi: <https://doi.org/10.1038/nature19793>
5. Lenart A., Vaupel J.W. Questionable evidence for a limit to human lifespan. *Nature*. 2017; 546(7660): E13-4. Doi: <https://doi.org/10.1038/nature22790>
6. Skiadas C.H. Remarks on "Limits to Human Lifespan". In: Skiadas C.H., ed. *Demography and Health Issues. The Springer Series on Demographic Methods and Population Analysis, vol. 46*. Cham: Springer; 2018: 15-30. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-76002-5_2
7. De Beer J., Bardoutsos A., Janssen F. Maximum human lifespan may increase to 125 years. *Nature*. 2017; 546(7670): E16-7. Doi: <https://doi.org/10.1038/nature22792>
8. Gavrillova L.A., Krut'ko V.N., Gavrillova N.S. The Future of Human Longevity. *Gerontology*. 2017; 63(6): 524-6. Doi: <https://doi.org/10.1159/000477965>
9. Kinsella K.G. Future longevity-demographic concerns and consequences. *J. Am. Geriatr. Soc.* 2005; 53(9 Suppl.): 299-303. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53494.x>
10. Zuo W., Jiang S., Guo Z., Feldman M.W., Tuljapurkar S. Advancing front of old-age human survival. *PNAS*. 2018; 115(44): 11209-14. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1812337115>
11. 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. Doi: <https://doi.org/10.1126/science.aat3119>
12. Gavrillova L.A., Gavrillova 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. *Innovation in Aging*. 2017; 1(1): 896.
13. 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. Doi: <https://doi.org/10.1111/ele.12888>
14. Finch C.E. Evolution of the human lifespan and diseases of aging: roles of infection, inflammation, and nutrition. *PNAS*. 2010; 107(1): 1718-24. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0909606106>
15. 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. Doi: <https://doi.org/10.4081/gh.2017.581>
16. Canudas-Romo V., Mazzuco S., Zanotto L. Measures and Models of Mortality. *Handbook of Statistics*. 2018; 39: 405-42. Doi: <https://doi.org/10.1016/bs.host.2018.05.002>
17. The Human Mortality Database. Available at: <http://www.mortality.org>
18. Gavrillova L.A., Gavrillova N.S. *The Biology of Life Span: A Quantitative Approach*. New-York: Harwood Academic Publisher; 1991.
19. Khasanova R. Mortality in Russia: what does the data say 2017. *Ekonomicheskoe razvitiye Rossii*. 2018; 25(2): 64-8. (In Russian)
20. Cha J., Finkelstein M. On some mortality rate processes and mortality deceleration with age. *J. Math. Biol.* 2016; 72(1-2): 331-42. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00285-015-0885-0>
21. 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.
22. 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. Doi: <https://doi.org/10.1098/rstl.1825.0026>
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). Doi: <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. Krut'ko V.N., Smirnova T.M. *Analysis of Mortality Trends and Life Expectancy in Russia 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)
26. Shkol'nikov V.M. Population of Russia: mortality, life expectancy. *Sotsiologicheskii zhurnal*. 1995; (1): 167-74. (in Russian)
27. Wilmoth J.R. Demography of longevity: past, present, and future trends. *Exp. Gerontol.* 2000; 35(9-10): 1111-29.
28. Kuznetsov L.V., Mamaev V.B., Ershova D.A. kinetic analysis of age-specific population mortality in the Russian Federation: total mortality. *Advances in Gerontology*. 2011; 1(2): 107-11. Doi: <https://doi.org/10.1134/S2079057011020081>
29. 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. U.S.A.* 2018; 115(46): 11754-9. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1811455115>
30. 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.
31. Bol'shakov A.M., Krut'ko V.N., Kutepov E.N. et al. Chunks of Information overload as a new topical section of hygiene of children and adolescents. *Gigiena i sanitariya*. 2016; 95(2): 172-7. Doi: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-2-172-177> (in Russian)
32. Malov A.M., Lukovnikova L.V., Alikbaeva L.A., Yakubova I.Sh., Shchegolikhin D.K. Results of biomonitoring of mercury pollution within the metropolis. *Gigiena i sanitariya*. 2018; 97(12): 1189-94. Doi: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1189-1194> (in Russian)
33. Malysheva A.G., Shelepova O.V., Vodyanova M.A. et al. Ekologicheskoye problemye of application of antihydrogen reagents in the conditions of a large megapolis (on the example of the city of Moscow). *Gigiena i sanitariya*. 2018; 97(11): 1032-7. Doi: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-11-1032-37> (in Russian)
34. Kriyt V.E., Sladkova Yu.N., Smirnov V.V. Hygiene and sanitation. Two-level road bridges as a special source of noise impact on residential development on the example of the Kanonersky island of St. Petersburg. *Gigiena i sanitariya*. 2018; 97(12): 1162-5. Doi: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1162-1165> (in Russian)
35. Yashchenko S.G., Rybalko S.Yu., Shibanov S.E., Grigor'ev O.A. Electromagnetic environment of radio frequency range of mobile communication and morbidity of adult population with diseases of the circulatory system. *Gigiena i sanitariya*. 2018; 97(12): 1184-8. Doi: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1184-1188> (in Russian)
36. Dato S., Rose G., Crocco P. et al. The genetics of human longevity: an intricacy of genes, environment, culture and microbiome. *Mech. Ageing Dev.* 2017; 165(Pt. B): 147-155. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.mad.2017.03.011>
37. Hayflick L. Entropy explains aging, genetic determinism explains longevity, and undefined terminology explains misunderstanding both. *PLoS Genet.* 2007; 3(12): e220. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.0030220>
38. Vagero D., Aronsson V., Modin B. Why is parental lifespan linked to children's chances of reaching a high age? A transgenerational hypothesis. *SSM Popul. Health*. 2018; 4: 45-54. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2017.11.006>
39. 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.
40. 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. Doi: <https://doi.org/10.2741/4624>