

DOI 10.35264/1996-2274-2020-1-118-131

ДОСТИЖИМОСТЬ ИНДИКАТОРОВ ПОДПРОГРАММЫ «РАЗВИТИЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КАПИТАЛА» ГОСПРОГРАММЫ «НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ» С УЧЕТОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А.П. Зубарев, ст. научн. сотр. ФГБНУ «Дирекция научно-технических программ», канд. физ.-мат. наук, Zubarev@fcntp.ru

А.К. Скуратов, ст. научн. сотр. ФГБНУ «Дирекция научно-технических программ», д-р техн. наук, проф., skuratov@fcntp.ru

Рецензент: И.А. Тугаринов

Целью исследования является оценка достижимости части индикаторов подпрограммы «Развитие национального интеллектуального капитала» Государственной программы «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» с учетом математического моделирования демографических процессов. Объект исследования – образовательная структура населения России в соответствии с Международной стандартной классификацией образования в редакции 2011 г. В работе использованы данные Росстата и нормативные документы Министерства науки и высшего образования. В качестве инструмента исследования образовательной структуры населения России предложена балансовая математическая модель в виде дифференциальных уравнений, описывающих изменения в образовательных уровнях во времени и в различных возрастных группах. Проведены численные эксперименты, позволившие дать прогноз изменений выпусков бакалавров, магистров, специалистов и кандидатов наук до 2031 г. На основе данного прогноза сделаны выводы о достижимости индикаторов вышеназванной Госпрограммы. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках реализации Государственного задания ФГБНУ «Дирекция научно-технических программ» № 075-01395-20-00.

Ключевые слова: государственная программа, международная стандартная классификация образования, уровни третичного образования, исследователи, математическое моделирование, демография, индикаторы госпрограммы.

REACHABILITY OF THE INDICATORS OF THE «DEVELOPMENT OF NATIONAL INTELLECTUAL CAPITAL» SUBPROGRAMME OF THE STATE PROGRAM «SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION» TAKING INTO ACCOUNT THE MATHEMATICAL MODELING OF DEMOGRAPHIC PROCESSES

A.P. Zubarev, Senior Researcher, FSBI Directorate of Scientific and Technological Programs, Doctor of Physics and Mathematics, Zubarev@fcntp.ru

A.K. Skuratov, Senior Researcher, FSBI Directorate of Scientific and Technological Programs, Ph.D., Professor, skuratov@fcntp.ru

The aim of the study is to assess the reachability of some indicators of the subprogram «Development of national intellectual capital» of the State program «Scientific and technological development of the Russian Federation» taking into account mathematical modeling of demographic

processes. The object of the study is the educational structure of the Russian population in accordance with the International Standard Classification of Education as amended in 2011. The work uses the data of the Federal State Statistics Service and regulatory documents of the Ministry of Science and Higher Education. A balance mathematical model in the form of differential equations describing changes in educational levels over time and in different age groups is proposed as a tool for studying the educational structure of the population of Russia. Numerical experiments were conducted that made it possible to forecast changes in the graduations of bachelors, masters, specialists and candidates of sciences until 2031. Based on this forecast, conclusions were drawn about the attainability of indicators of the above state program. This work was supported by the Ministry of Education and Science of Russia as part of the implementation of the State task of the Federal State Budgetary Scientific Institution Directorate of Scientific and Technological Programs No. 075-01395-20-00.

Keywords: state program, international standard classification of education, tertiary education levels, researchers, mathematical modeling, demography, state program indicators.

Введение

Постановлением Правительства Российской Федерации от 29.03.2019 № 377 утверждена Государственная программа Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» (ГП НТР). С 15.04.2020 действует редакция ГП НТР, утвержденная Постановлением Правительства Российской Федерации от 31.03.2020 № 390 [1]. ГП НТР разработана с учетом целевых показателей национальных проектов «Наука», «Образование» и «Цифровая экономика». В ГП НТР предусмотрена гармонизация ассигнований федерального бюджета на научные исследования и достижение соответствующих результатов, предусмотренных в других государственных программах. В ГП НТР включены пять подпрограмм: «Развитие национального интеллектуального капитала», «Обеспечение глобальной конкурентоспособности российского высшего образования», «Фундаментальные научные исследования для долгосрочного развития и обеспечения конкурентоспособности общества и государства», «Формирование и реализация комплексных научно-технических программ по приоритетам Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, а также научное, технологическое и инновационное развитие по широкому спектру направлений», «Инфраструктура научной, научно-технической и инновационной деятельности». В ГП НТР входит и Федеральная целевая программа (ФЦП) «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы». Таким образом, ГП НТР во многом является продолжением целого ряда федеральных целевых программ и нацелена на достижение индикаторов, которые определены в этих программах. Выполнение ГП НТР рассчитано на реализацию в 2019–2030 гг.

В подпрограмме ГП НТР № 1 «Развитие национального интеллектуального капитала» установлены целевые индикаторы:

- 1) доля исследователей в возрасте до 39 лет в общей численности российских исследователей. В 2030 г. значение данного индикатора должно составить 51,5 %;
- 2) численность исследователей в возрасте до 39 лет (включительно), имеющих ученую степень кандидата наук. В 2030 г. значение данного индикатора должно составить 28,5 тыс. чел.;
- 3) количество грантов для поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых.

Кроме того, в паспорте ГП НТР среди ожидаемых результатов реализации подпрограммы № 1 «Развитие национального интеллектуального капитала» указывается «...рост количества занятых исследованиями, разработками и технологическим предпринимательством более чем на 10 процентов». Если достижимость индикатора № 3 «Количество грантов...» зависит от объемов бюджетного финансирования, то достижимость индикаторов № 1 и 2, а также количества исследователей во многом определяется демографической ситуацией.

Цель исследования, терминология и методика

Целью настоящей статьи является математический расчет достижимости индикаторов, которые непосредственно связаны с демографией. Научными исследователями могут быть люди, находящиеся на третичной ступени образования. В настоящей работе для определения изменений в образовательных уровнях во времени и в различных возрастных группах была применена балансовая математическая модель в виде системы дифференциальных уравнений. Полученные решения использовались при прогнозировании числа научных исследователей для различных уровней третичной ступени образования и различных возрастных групп до 2030 г. В действующей Международной стандартной классификации образования в редакции 2011 г. (МСКО-2011) третичную ступень образования составляют уровни: 6-й (бакалавры), 7-й (магистры и специалисты), 8-й (кандидаты и доктора наук) [2, 3].

В настоящей статье рассмотрена упрощенная схема образовательной системы общества, представленная на рис. 1.

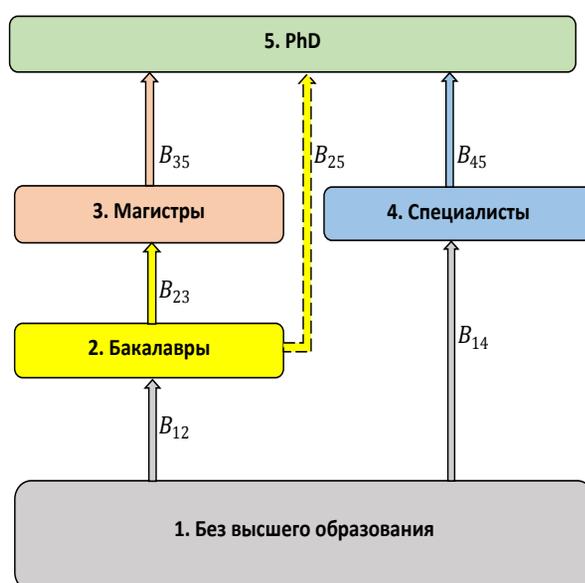


Рис. 1. Упрощенная схема образовательной системы

В работе была использована следующая терминология: все совокупности людей, входящие в ячейки рис. 1, называются группами. То есть человек без высшего образования входит в группу 1, бакалавр – в группу 2, магистр – в группу 3, специалист – в группу 4, кандидаты и доктора наук (Ph. D.) – в группу 5. Несмотря на то что магистры и специалисты по образовательному уровню считаются равнозначными, они были выделены в отдельные группы, так как, например, согласно действующим нормам нельзя из группы 1 перейти в группу 3, а в группу 4 – можно. Особенностью схемы, представленной на рис. 1, является то, что фактически существующие в России две ученые степени (кандидата и доктора наук) объединены в одну группу, обозначенную как 5-я – Ph. D. Таким термином, например, в США классифицируются научные и научно-педагогические кадры высшей ученой степени, которая следует сразу за степенью магистра наук. Люди, закончившие вуз с дипломом «специалист», выделены в группу 4. Они, как и магистры, имеют право переходить в высшую категорию – группу 5 (Ph. D.) – и через аспирантуру, и через соискательство без аспирантуры [4]. На рис. 1 учтено также то обстоятельство, что до 2007 г. бакалавры имели право поступать

в аспирантуру (и, соответственно, защищать кандидатскую степень), а до 2014 г. они могли участвовать в соискательстве ученой степени кандидата, но только без аспирантуры.

Рассмотрим движение людей в схеме, представленной на рис. 1. Пусть t – время (календарные годы); x – возраст (лет); $S_1(x, t)$ – количество людей в России без высшего образования в момент времени t и возраста x ; $S_2(x, t)$ – количество людей с дипломом бакалавра; $S_3(x, t)$ – количество людей с дипломом магистра; $S_4(x, t)$ – количество людей с дипломом специалиста; $S_5(x, t)$ – количество людей, имеющих ученую степень (кандидата и доктора наук). Идеология использованной в настоящей работе математической модели основана на балансе: сумма всего числа людей в группах от 1-й до 5-й (см. рис. 1) должна быть равна общему населению страны. То есть, например, если бакалавр защищается как магистр, то из бакалавров он удаляется, становясь магистром. Аналогично, если магистр получает диплом кандидата (успешно защищает кандидатскую диссертацию), то из магистров он удаляется, становясь Ph.D. С учетом таких демографических процессов, как смертность и международная миграция, и переходов с уровня на уровень в схеме, представленной на рис. 1, математически движение населения по образовательной системе можно записать в виде системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial S_1}{\partial t} + \frac{\partial S_1}{\partial x} = -\mu_1 S_1 - \varphi_1 S_1 - B_{12} S_1 - B_{14} S_1, \quad (1)$$

$$\frac{\partial S_2}{\partial t} + \frac{\partial S_2}{\partial x} = -\mu_2 S_2 - \varphi_2 S_2 + B_{12} S_1 - B_{23} S_2 - B_{25} S_2, \quad (2)$$

$$\frac{\partial S_3}{\partial t} + \frac{\partial S_3}{\partial x} = -\mu_3 S_3 - \varphi_3 S_3 + B_{23} S_2 - B_{35} S_3, \quad (3)$$

$$\frac{\partial S_4}{\partial t} + \frac{\partial S_4}{\partial x} = -\mu_4 S_4 - \varphi_4 S_4 + B_{14} S_1 - B_{45} S_4, \quad (4)$$

$$\frac{\partial S_5}{\partial t} + \frac{\partial S_5}{\partial x} = -\mu_5 S_5 - \varphi_5 S_5 + B_{25} S_2 + B_{35} S_3 + B_{45} S_4. \quad (5)$$

В уравнениях (1)–(5) $\mu_k, \varphi_k, k = 1, 2, 3, 4, 5$ – коэффициенты смертности и международной миграции для людей соответствующей группы. Отметим, что коэффициенты смертности μ_k всегда положительны, а миграции φ_k могут быть как положительными (оттоки из страны), так и отрицательными (притоки в страну). Коэффициенты переходов в (1)–(5): B_{12} (из 1-й во 2-ю) – из «без высшего образования» в «бакалавры», B_{14} (из 1-й в 4-ю) – из «без высшего образования» в «специалисты», B_{23} (из 2-й в 3-ю) – из «бакалавров» в «магистры», B_{25} (из 2-й в 5-ю) – из «бакалавров» в Ph.D., B_{35} (из 3-й в 5-ю) – из «магистров» в Ph.D., B_{45} (из 4-й в 5-ю) – из «специалистов» в Ph.D. Левые части уравнений (1)–(5) – обычная форма записи в эволюционных дифференциальных уравнениях при рассмотрении вопросов демографии [5, 6].

Математические методы в демографии для решения проблем возрастного распределения населения стали разрабатываться более века назад (например, [7, 8] – при помощи алгебраических и интегральных уравнений, отражающих баланс между смертностью и рождаемостью). В настоящей работе был выделен общий демографический фон населения России, в качестве чего использовались данные Росстата, в том числе и прогноз до 2030 г. Действительно, введем обозначение: пусть $R(x, t)$ – все население (количество людей) в России в момент времени t (год) в возрасте x (лет). Выполним в (1)–(5) подстановку:

$$S_k(x, t) = R(x, t) Y_k(x, t), \quad k = 1, \dots, 5. \quad (6)$$

Функции $Y_k(x, t)$ являются долями k -й группы схемы рис. 1 среди всего населения. Введем обозначения: $A_k = \mu_k + \varphi_k$, $k = 1, \dots, 5$ и $\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} = \hat{L}$. Допустим, что смертность и миграционные характеристики людей одного возраста, находящихся на третичной ступени образования, одинаковы: $A_2 = A_3 = A_4 = A_5 = A_{HE}$, тогда нетрудно показать, что:

$$\hat{L}Y_1 = -aY_1^2 + (a - B_{12} - B_{14})Y_1, \quad (7)$$

$$\hat{L}Y_2 = -(B_{23} + B_{25} + aY_1)Y_2 + B_{12}Y_1, \quad (8)$$

$$\hat{L}Y_3 = -(B_{35} + aY_1)Y_3 + B_{23}Y_2, \quad (9)$$

$$\hat{L}Y_4 = -(B_{45} + aY_1)Y_4 + B_{14}Y_1, \quad (10)$$

$$\hat{L}Y_5 = -aY_1Y_5 + B_{25}Y_2 + B_{35}Y_3 + B_{45}Y_4, \quad (11)$$

$$\text{где: } a = A_{HE} - A_1; \quad A_{HE} = A_2 = A_3 = A_4 = A_5. \quad (12)$$

Таким образом, представление (6) позволило, выделив общий нестационарный демографический фон $R(x, t)$, оставить только нестационарность, связанную с перераспределением во времени между $Y_k(x, t)$, поскольку очевидно, что выполняется баланс $Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 = 1$. Краевые условия при $x = 0$ задаются исходя из факта, что в нулевом возрасте нет бакалавров, магистров, специалистов и Ph. D. Для демографических проблем на решения необходимо накладывать также начальные условия по времени, которые логично связать со временем проведения общенациональной переписи населения. В случае если все движение в модели, представленной на рис. 1, начинается только с некоторого возраста $x_0 > 0$, то краевое условие будет выглядеть как $Y_1(x = x_0, t) = 1$. На практике x_0 возможно связать с характерным возрастом получения диплома бакалавра – на нижнем уровне третичной ступени образования. Были проведены исследования системы уравнений (7)–(11). Нетрудно заметить, что в первое уравнение этой системы входит только Y_1 , во второе – только Y_1 и Y_2 , в третье – Y_1, Y_2, Y_3 и т. д. То есть, найдя решение первого уравнения (7), его можно использовать как подстановку во второе (8) и т. д. Оказалось, что решение (7) при начальных и краевых условиях (так называемая смешанная задача, [9], – не нарушая общности, запишем, что $Y_1(x = 0, t) = 1$ и $Y_1(x, t = 0) = Y_1^0(x)$) можно выписать в квадратурах. Выполним в уравнение (7) подстановку $Y_1 = z/w$, тогда для z и w получим уравнения:

$$\hat{L}z = fz: \quad x > 0; \quad t > 0; \quad z(x = 0, t) = 1; \quad z(x, t = 0) = Y_1^0(x), \quad (13)$$

$$\hat{L}w = az: \quad x > 0; \quad t > 0; \quad w(x = 0, t) = 1; \quad w(x, t = 0) = 1, \quad (14)$$

где принято обозначение: $f = a - B_{12} - B_{14}$.

Решение задачи (13) и через него решение задачи (14) в квадратурах можно записать последовательно в виде:

$$z(x, t) = Y_1^0(x-t)^{\theta(x-t)} \exp \left\{ \int_0^x d\xi \cdot \theta(t-x+\xi) f(\xi, t-x+\xi) \right\}, \quad (15)$$

$$w(x,t) = 1 + \int_0^x d\xi \cdot \theta(t-x+\xi) a(\xi, t-x+\xi) z(\xi, t-x+\xi), \quad (16)$$

где функция $\theta(x)$ – тэта-функция Хэвисайда: $\theta(x) = 0$, если $x < 0$, и $\theta(x) = 1$, если $x \geq 0$.

Непосредственной подстановкой убеждаемся, что (15) и (16) удовлетворяют (13) и (14) соответственно (используем свойства $\theta(x)$ и то, что функция Y_1^0 всегда положительна).

Для получения численных значений функций $Y_k(x,t)$ была использована схема бегущего счета «правый верхний уголок» [9], шаблон которой представлен на рис. 2.

По горизонтали шаблона – изменение по x , по вертикали – по t . Конечно-разностное представление оператора \hat{L} имеет вид:

$$\hat{L}Y_k = \frac{Y_k(n, j+1) - Y_k(n, j)}{\Delta t} + \frac{Y_k(n, j+1) - Y_k(n-1, j+1)}{\Delta x}. \quad (17)$$

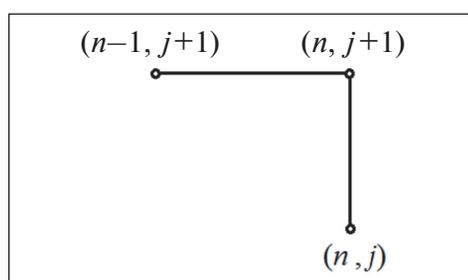


Рис. 2. Шаблон разностной схемы бегущего счета «правый верхний уголок»

Особенностью выбранной схемы является ее безусловная устойчивость по начальным и краевым данным. Использование метода бегущего счета позволяет находить решение (7)–(11) послойно, переходя от слоя с известными значениями к следующему слою и т. д. Для «нулевых» слоев с известными значениями $Y_k(x, t)$ были использованы данные переписи населения России за 2010 г. [10]. Вычисление всех коэффициентов B и a как функций x и t в (7)–(11) производилось минимизацией расхождений расчетных выпусков бакалавров, магистров, специалистов и Ph.D., моделируемых гладкими ограниченными функциями, с их истинными значениями из [3, 11, 12]. Например, модельный переход за время Δ с уровня 1 на уровень 2 схемы, изображенной на рис. 1, равен $B_{12}Y_1R\Delta$, где $R = R(x, t)$ – количество людей в России возраста x для времени t . B_{12} представлялось в виде:

$$B_{12}(x,t) = X_{12}(x)T_{12}(t), \quad (18)$$

$$X_{12}(x) = \Theta(x - x_{12}) \frac{(x - x_{12})^{p_{12}} \exp(-a_{12}(x - x_{12}))}{\max[(x - x_{12})^{p_{12}} \exp(-a_{12}(x - x_{12}))]}; \quad p_{12} > 0; \quad a_{12} > 0, \quad (19)$$

$$T_{12}(t) = \frac{c_{12}e^{\gamma_{12}(t_2-t)} + d_{12}}{e^{\gamma_{12}(t_2-t)} + 1}; \quad c_{12} > 0; \quad d_{12} > 0. \quad (20)$$

Аналогичным образом представлялись другие коэффициенты в (7)–(11). Математически приближение модельных значений выпусков к фактическим осуществлялось эволюционным (генетическим) методом поиска решения.

Результаты исследования

Если использовать демографический прогноз Росстата до 2031 г., то можно на основе полученных результатов сделать прогноз выпусков бакалавров, магистров, специалистов и Ph.D. На рис. 3–6 представлены полученные результаты до 2031 г. в тыс. чел. Также показаны фактические значения.

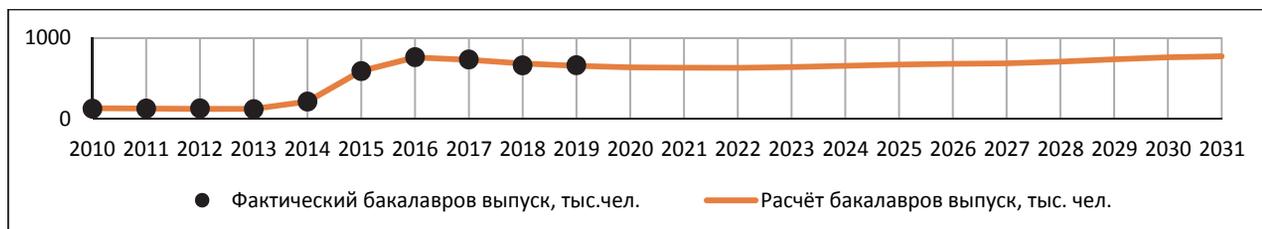


Рис. 3. Бакалавры

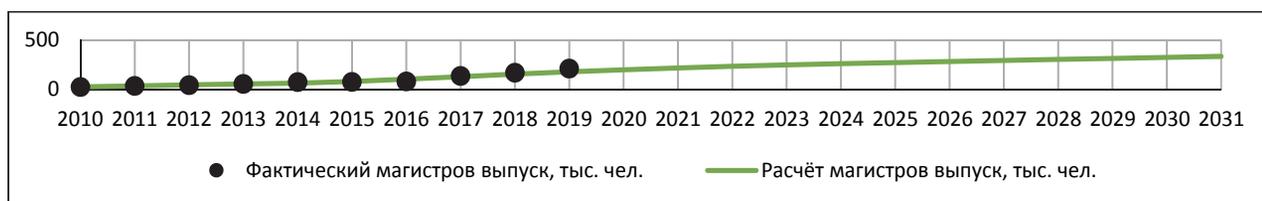


Рис. 4. Магистры

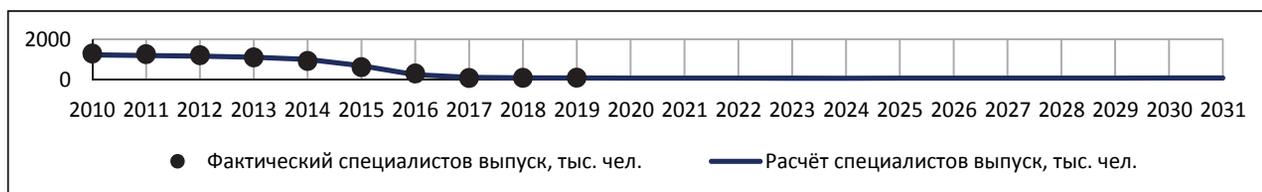


Рис. 5. Специалисты

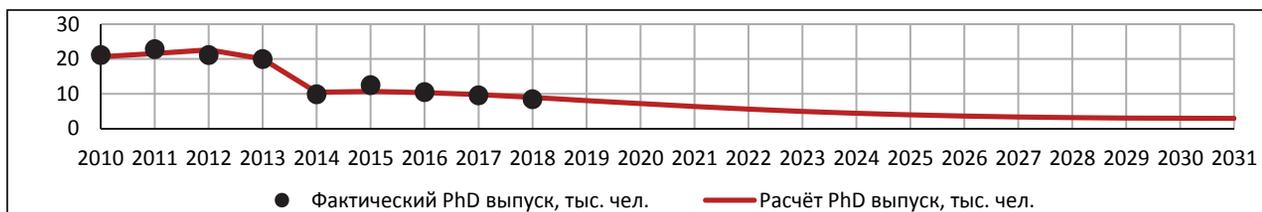


Рис. 6. Ph.D.

Выпуск бакалавров в 2031 г. составит 770 тыс. чел. и немного увеличится по сравнению с 2019 г., когда он составлял 660 тыс. Рост – 17 %.

Выпуск магистров в 2031 г. составит 330 тыс. чел. и значительно увеличится по сравнению с 2019 г., когда он составлял 210 тыс. Рост – 57 %.

Выпуск специалистов в 2031 г. составит 90 тыс. чел. и немного уменьшится по сравнению с 2019 г., когда он составлял 110 тыс. Снижение – 18 %.

Выпуск Ph. D. в 2031 г. составит 3 тыс. чел. и значительно уменьшится по сравнению с 2018 г., когда он составлял 8,5 тыс. Снижение – 65 %.

Рассмотренная в работе модель позволяет рассчитать выпуски бакалавров, магистров, специалистов и Ph. D. для каждого возраста по годам. Модель показывает, что для каждого возраста число людей, находящихся на различных уровнях третичной ступени образования, будет меняться. В табл. 1–4 показаны рассчитанные по модели количества людей на различных уровнях третичной ступени образования, тыс. чел.

Таблица 1

Бакалавры в России, тыс. чел., расчет по модели

Год	Возраст, лет												Итого
	15–19	20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–64	65–69	70 и старше	
2010	0,0	313,8	377,5	238,6	123,2	45,3	31,4	20,4	13,5	8,1	4,5	9,1	1185,4
2011	0,0	314,1	394,5	248,6	146,5	54,7	33,4	22,4	14,1	9,2	3,9	9,3	1250,7
2012	0,0	312,2	404,3	254,8	164,6	66,7	35,9	24,6	14,8	9,8	3,9	9,4	1301,1
2013	0,0	310,6	407,5	263,0	176,9	81,4	39,3	26,8	15,9	10,3	4,6	9,0	1345,1
2014	0,0	377,5	424,4	274,7	187,4	96,4	43,9	29,1	17,3	10,8	5,4	8,5	1475,3
2015	0,0	713,1	546,0	297,7	198,5	113,5	50,9	31,9	19,0	11,5	6,7	8,2	1996,9
2016	0,0	1061,4	753,6	329,4	209,1	127,9	60,1	34,2	21,2	12,2	7,6	7,9	2624,6
2017	0,0	1294,2	981,2	386,7	218,6	141,5	69,9	37,1	23,3	13,0	8,1	8,0	3181,7
2018	0,0	1426,6	1192,4	469,5	234,8	152,9	81,5	40,6	25,6	14,1	8,6	8,3	3655,1
2019	0,0	1517,1	1350,0	571,2	260,4	164,9	93,2	45,0	27,9	15,4	9,1	8,6	4062,8
2020	0,0	1565,8	1483,2	697,0	295,8	177,6	105,5	50,6	30,2	16,8	9,6	9,2	4441,3
2021	0,0	1596,9	1569,1	835,9	342,0	194,0	117,6	58,6	32,5	18,9	10,3	9,7	4785,4
2022	0,0	1630,5	1630,0	954,1	408,4	210,9	130,1	66,9	35,1	21,0	11,1	10,2	5108,3
2023	0,0	1680,6	1667,3	1047,9	490,5	235,7	142,1	76,7	38,2	23,1	12,1	10,9	5425,1
2024	0,0	1725,0	1726,7	1106,9	578,9	270,4	156,3	86,8	42,0	25,2	13,4	11,5	5743,1
2025	0,0	1791,2	1755,7	1156,6	675,4	312,6	171,8	97,9	46,7	27,3	14,7	12,4	6062,4
2026	0,0	1836,2	1804,5	1183,9	775,6	363,9	192,7	109,2	53,5	29,3	16,6	13,4	6378,9
2027	0,0	1889,8	1846,7	1206,7	853,4	431,0	214,8	121,7	60,6	31,6	18,5	14,5	6689,4
2028	0,0	1929,1	1918,2	1222,8	909,8	508,5	244,9	134,6	69,1	34,1	20,4	15,7	7007,1
2029	0,0	1974,4	1987,2	1261,7	940,4	586,5	284,7	150,2	78,0	37,2	22,3	17,3	7339,8
2030	0,0	2031,1	2063,2	1283,1	965,7	668,0	330,4	167,9	88,2	41,2	24,1	19,0	7681,9
2031	0,0	2096,8	2113,3	1320,9	976,1	749,3	383,0	191,5	99,0	47,0	25,8	21,2	8023,8

Таблица 2

Магистры в России, тыс. чел., расчет по модели

Год	Возраст, лет												Итого
	15–19	20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–64	65–69	70 и старше	
2010	0,0	106,4	214,2	165,8	73,0	28,1	17,4	11,1	7,1	4,3	2,3	4,5	634,2
2011	0,0	76,9	208,3	193,8	96,0	35,2	19,7	12,0	7,7	4,8	2,1	4,5	661,0
2012	0,0	54,6	206,1	217,3	122,2	45,7	22,4	13,4	8,2	5,0	2,2	4,6	701,7

Окончание табл. 2

Год	Возраст, лет												Итого
	15–19	20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–64	65–69	70 и старше	
2013	0,0	38,1	201,1	240,8	149,7	60,4	25,9	15,1	8,9	5,3	2,5	4,5	752,3
2014	0,0	27,7	192,3	263,4	179,3	78,3	30,8	17,2	9,7	5,7	2,9	4,2	811,5
2015	0,0	24,2	194,6	286,8	211,1	101,3	38,3	19,9	10,9	6,1	3,6	4,1	900,8
2016	0,0	24,2	207,4	303,9	242,2	125,4	48,6	22,8	12,4	6,6	4,1	4,0	1001,5
2017	0,0	26,8	232,8	331,5	269,1	151,6	61,1	26,3	14,1	7,2	4,3	4,1	1129,0
2018	0,0	29,8	266,4	368,4	299,3	177,9	76,9	30,8	16,1	8,0	4,6	4,3	1282,3
2019	0,0	34,0	302,5	413,5	334,4	206,2	94,7	36,6	18,5	9,0	4,9	4,5	1458,7
2020	0,0	36,6	337,7	476,9	374,5	235,8	115,4	44,1	21,1	10,1	5,3	4,8	1662,3
2021	0,0	38,2	363,2	552,7	419,2	269,8	138,0	54,9	24,2	11,8	5,8	5,1	1882,8
2022	0,0	39,7	387,5	626,0	482,2	302,2	162,6	67,2	27,9	13,7	6,4	5,4	2120,8
2023	0,0	42,0	408,0	692,0	558,7	342,3	187,9	82,3	32,4	15,9	7,2	5,8	2374,3
2024	0,0	42,9	434,1	744,1	641,7	392,4	216,6	99,0	38,0	18,3	8,2	6,3	2641,7
2025	0,0	45,4	451,6	790,7	737,0	449,0	247,2	118,3	45,2	21,0	9,4	6,9	2921,7
2026	0,0	46,4	469,0	821,5	840,1	514,1	285,0	139,4	55,3	24,0	11,2	7,6	3213,6
2027	0,0	49,3	487,4	852,7	927,1	599,2	323,0	162,9	66,4	27,5	13,1	8,4	3517,0
2028	0,0	50,9	511,6	880,6	996,5	697,0	371,0	187,4	80,1	31,6	15,2	9,4	3831,3
2029	0,0	51,5	532,0	924,7	1043,5	796,5	431,2	216,3	95,2	36,7	17,6	10,7	4155,9
2030	0,0	51,8	558,7	955,8	1085,6	903,6	498,5	248,1	112,7	43,1	20,2	12,3	4490,3
2031	0,0	53,2	577,4	994,6	1111,2	1013,9	574,4	288,3	132,1	52,0	22,9	14,4	4834,3

Таблица 3

Специалисты в России, тыс. чел., расчет по модели

Год	Возраст, лет												Итого
	15–19	20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–64	65–69	70 и старше	
2010	0,0	1926,6	3687,6	3184,9	2752,9	2400,3	2749,2	2527,6	2122,7	1564,1	916,2	2019,4	25 851,5
2011	0,0	1997,3	3811,6	3418,4	2810,3	2473,6	2609,4	2608,0	2109,6	1713,3	793,9	2026,5	26 371,8
2012	0,0	1989,2	4044,4	3574,2	2922,7	2545,7	2503,9	2646,5	2109,2	1746,1	796,5	2017,7	26 896,2
2013	0,0	1903,8	4259,2	3752,3	3035,5	2649,6	2419,5	2641,2	2126,9	1759,5	902,2	1929,2	27 378,9
2014	0,0	1763,6	4363,8	3954,4	3187,9	2745,5	2369,2	2605,7	2173,4	1764,9	1046,9	1801,1	27 776,3
2015	0,0	1488,9	4382,2	4181,5	3384,7	2901,0	2400,9	2576,0	2226,8	1784,4	1248,9	1721,2	28 296,6
2016	0,0	1020,1	4061,1	4269,2	3569,6	2991,0	2463,6	2464,0	2285,2	1786,0	1378,5	1644,6	27 932,9
2017	0,0	672,2	3534,4	4373,2	3705,6	3108,8	2534,8	2370,2	2312,4	1791,4	1416,0	1650,4	27 469,3
2018	0,0	449,0	2931,1	4385,1	3872,4	3209,0	2645,4	2291,3	2307,5	1806,0	1438,3	1677,8	27 013,0
2019	0,0	323,4	2344,5	4236,5	4047,0	3336,6	2747,5	2242,1	2277,8	1840,9	1450,6	1705,3	26 552,0
2020	0,0	240,6	1837,6	4029,9	4190,2	3469,1	2864,2	2233,9	2214,1	1849,7	1445,1	1763,1	26 137,4
2021	0,0	189,2	1396,3	3721,8	4240,3	3629,4	2961,9	2294,8	2123,7	1893,0	1452,4	1811,2	25 713,9
2022	0,0	160,4	1075,6	3300,7	4305,7	3739,0	3079,2	2362,7	2048,5	1912,0	1460,4	1851,5	25 295,7
2023	0,0	146,4	840,5	2824,8	4290,3	3877,5	3175,2	2467,2	1985,1	1905,8	1474,1	1893,2	24 880,1
2024	0,0	137,3	688,9	2353,1	4140,7	4024,7	3295,9	2566,4	1948,8	1881,3	1502,8	1925,0	24 465,0
2025	0,0	136,1	570,8	1930,1	3936,0	4122,7	3402,5	2680,1	1948,6	1835,3	1511,2	1974,9	24 048,3

Окончание табл. 3

Год	Возраст, лет												Итого
	15–19	20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–64	65–69	70 и старше	
2026	0,0	135,4	490,3	1544,2	3661,3	4147,9	3540,2	2773,2	2006,5	1763,7	1546,6	2018,8	23 628,0
2027	0,0	138,6	436,8	1250,1	3287,0	4193,5	3626,3	2880,6	2068,8	1704,6	1562,0	2054,0	23 202,3
2028	0,0	139,8	407,3	1021,4	2861,1	4169,3	3738,6	2965,5	2162,2	1655,6	1557,1	2091,7	22 769,6
2029	0,0	140,6	387,7	866,0	2432,5	4026,2	3859,2	3070,3	2249,9	1629,1	1537,9	2130,2	22 329,6
2030	0,0	143,1	380,5	735,1	2043,8	3838,8	3934,8	3159,7	2349,6	1632,3	1501,4	2164,3	21 883,3
2031	0,0	148,2	374,2	639,5	1681,0	3592,0	3946,0	3276,6	2431,7	1683,9	1445,1	2213,7	21 431,8

Таблица 4

Ph. D. в России, тыс. чел., расчет по модели

Год	Возраст, лет												Итого
	15–19	20–24	25–29	30–34	35–39	40–44	45–49	50–54	55–59	60–64	65–69	70 и старше	
2010	0,0	15,2	38,6	62,0	86,3	72,9	55,9	63,8	84,5	70,9	48,2	132,2	730,7
2011	0,0	10,8	44,2	65,8	83,6	77,6	58,9	60,0	78,4	76,6	40,0	129,1	725,0
2012	0,0	7,5	48,9	70,8	82,5	80,7	61,5	58,1	72,6	76,3	38,3	125,2	722,4
2013	0,0	4,9	50,0	76,2	81,5	83,5	63,6	57,4	67,5	74,4	42,2	117,2	718,4
2014	0,0	3,1	44,0	78,3	81,4	85,0	65,7	57,6	63,9	71,7	48,0	107,5	706,2
2015	0,0	2,0	39,3	80,3	82,7	87,4	69,1	58,9	61,0	68,9	56,1	100,7	706,4
2016	0,0	1,1	34,1	78,9	83,7	87,1	72,7	58,8	59,1	65,1	60,6	94,1	695,3
2017	0,0	0,7	28,8	77,9	84,0	87,1	75,5	59,2	57,7	61,5	60,5	91,5	684,4
2018	0,0	0,4	23,6	75,4	85,1	86,4	78,7	59,6	56,6	58,3	59,4	90,0	673,5
2019	0,0	0,2	19,1	70,7	86,2	86,4	80,8	60,5	55,8	56,1	57,7	88,6	662,1
2020	0,0	0,2	15,1	65,8	86,8	86,4	82,7	61,9	54,7	53,5	54,8	88,6	650,6
2021	0,0	0,1	11,6	59,9	85,5	87,0	83,5	64,8	53,4	52,3	52,5	88,0	638,4
2022	0,0	0,1	9,0	52,8	84,7	86,6	84,3	67,3	52,6	51,3	50,3	87,0	626,0
2023	0,0	0,0	7,2	45,3	82,6	87,0	84,3	70,2	52,1	50,1	48,3	85,9	613,2
2024	0,0	0,0	6,1	38,2	78,4	87,6	84,8	72,5	52,2	49,0	47,0	84,4	600,2
2025	0,0	0,0	5,2	31,9	73,6	87,4	84,7	74,7	53,0	47,7	45,3	83,4	587,0
2026	0,0	0,0	4,5	26,2	67,9	85,8	85,2	75,9	55,2	46,0	44,6	82,2	573,6
2027	0,0	0,0	4,1	22,0	60,9	85,0	84,7	77,1	57,2	44,8	43,8	80,6	560,1
2028	0,0	0,0	3,9	18,7	53,2	83,1	84,8	77,4	59,7	43,9	42,8	79,0	546,5
2029	0,0	0,0	3,7	16,7	45,7	79,1	85,2	78,0	61,7	43,6	41,7	77,5	532,9
2030	0,0	0,0	3,7	15,0	39,0	74,7	84,8	78,2	63,7	44,0	40,4	76,0	519,4
2031	0,0	0,0	3,7	13,7	32,9	69,5	83,2	78,8	64,9	45,6	38,7	75,1	506,0

Обсуждение полученных результатов

В качестве эмпирических данных использовались данные [11] о распределении исследователей по возрастным группам в 2010–2018 гг. и о распределении исследователей, имеющих ученую степень, по возрастным группам в 2010–2017 гг. При помощи эволюционного поиска решения данные табл. 1–4 использовались для решения оптимизационной задачи: какую долю

составляют люди с каждого уровня образования третичной ступени, являющиеся исследователями. На рис. 7 показаны модельные и фактические количества исследователей, тыс. чел.

В 2018 г. фактическое количество исследователей составило 348 тыс. чел. Прогнозное значение в 2030 г. составит 390 тыс. чел. То есть модель показывает, что увеличение количества исследователей к 2030 г. на 10% (ожидаемый результат ГП НТР) по сравнению с 2018 г. достижимо.



Рис. 7. Модельные и фактические количества исследователей

Иначе обстоит с достижением в 2030 г. уровня 51,5%-ной доли исследователей 39 лет и младше среди всех исследователей. На рис. 8 показаны фактические, модельные и ожидаемые по ГП НТР значения доли исследователей в возрасте 39 лет и младше по годам в процентах.

Из рис. 8 видно, что доля исследователей возраста 39 лет и младше будет снижаться, вопреки установкам ГП НТР.

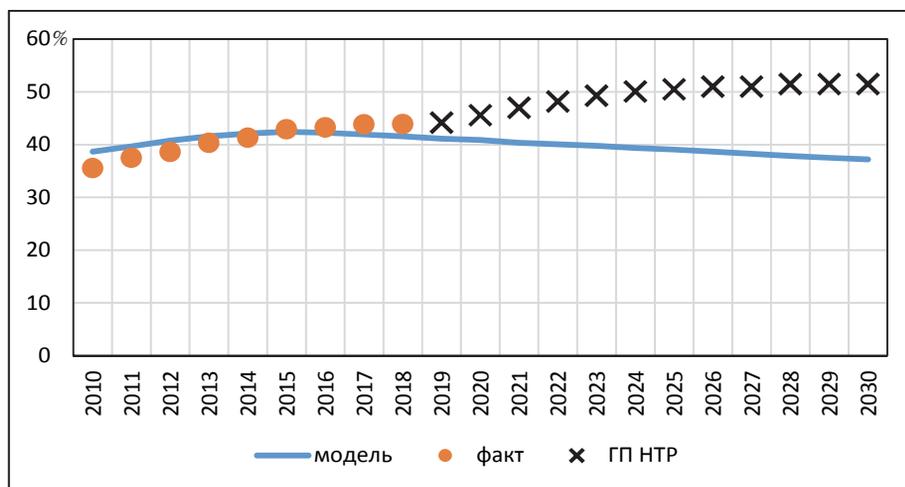


Рис. 8. Модельные, фактические и ожидаемые по ГП НТР доли исследователей в возрасте 39 лет и младше

На рис. 9 показаны фактические, модельные и ожидаемые по ГП НТР значения количества исследователей – Ph.D., т.е. кандидатов и докторов наук, в возрасте 39 лет и младше, тыс. чел.

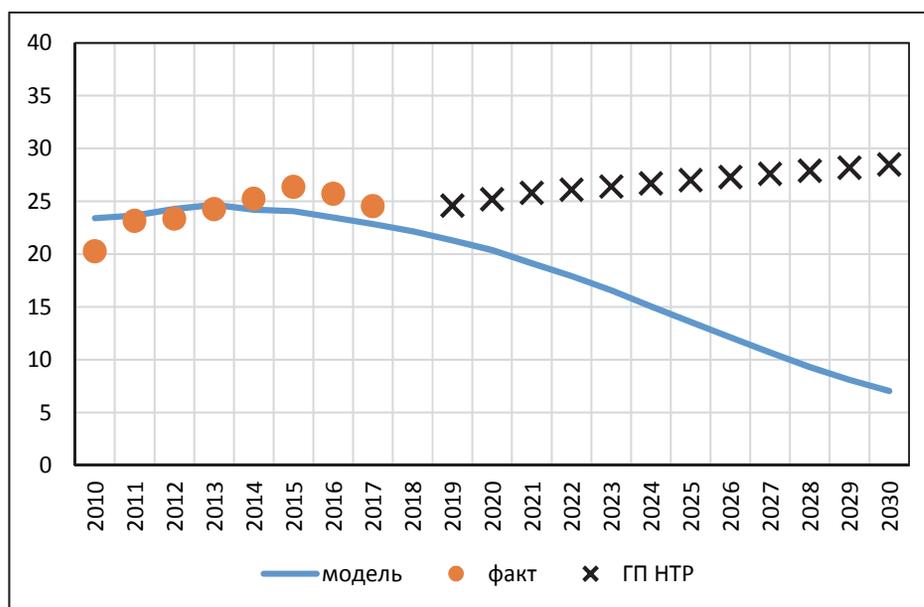


Рис. 9. Количество исследователей – Ph.D. – в возрасте 39 лет и младше

В 2017 г. количество «молодых» (в возрасте 39 лет и младше) исследователей – Ph.D. – составляло 24,5 тыс. чел. В 2030 г. модельное значение этого показателя составит 7,1 тыс. чел. Модель показывает, что количество исследователей – Ph.D. – возраста 39 лет и младше до 2030 г. будет снижаться.

Заключение

В качестве выводов по факту проведенных исследований можно обоснованно предположить, что индикаторы ГП НТР, которые зависят не только от мер государственной поддержки исследований и разработок, но и от складывающейся неблагоприятной демографической ситуации, достигнуты не будут. Очевидно, что для достижения таких индикаторов должны быть предприняты дополнительные усилия со стороны исполнителей ГП НТР. Вместе с тем рост количества занятых исследованиями, разработками и технологическим предпринимательством более чем на 10 % по отношению к началу реализации ГП НТР возможен, что отражает мировую тенденцию к усилению роли науки в развитии общества.

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 29.03.2019 № 377 «Об утверждении Государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» (ред., утв. Постановлением Правительства РФ от 31.03.2020 № 390). URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=350194&fld=134&dst=100047,0&rnd=0.02430725466004313#020087617666097435> (дата обращения: 30.04.2020).
2. Международная стандартная классификация образования МСКО-2011/ Институт статистики ЮНЕСКО. 87 с. URL: <http://asv.mgsu.ru/universityabout/UMO-ASV/dokumenty/intretdok/MSKO-2011.pdf> (дата обращения: 30.04.2020).
3. Индикаторы образования: стат. сб. НИУ ВШЭ. 2018. URL: <https://www.hse.ru> (дата обращения: 27.04.2020).
4. Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней».

5. Зубарев А.П., Скуратов А.К., Реймер К., Чернова И.Н. Моделирование возрастной структуры и мобильности научных кадров // Математическое моделирование. 2018. Т. 30. № 3. С. 67–82.
6. Орлов Ю.Н., Суслин В.М. Кинетические уравнения в нелинейных моделях демографии / Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2001. 047.
7. Lotka A.J. Relation between birth rate and death rates // Science. 1907. V. 26.
8. Lotka A.J., Sharpe F.R. A problem in age-distribution // Philosophical Magazine. 1911. V. 21.
9. Калиткин Н.Н., Корякин П.В. Численные методы: в 2 кн. Кн. 2. Методы математической физики: учеб. для студентов учреждений выс. проф. обр. М.: Академия, 2013. 304 с.
10. Всероссийская перепись населения 2010 г. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm (дата обращения: 30.04.2020).
11. Статистические сборники ВШЭ. Индикаторы науки. URL: <https://www.hse.ru/primarydata/in2019> (дата обращения: 30.04.2020).
12. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Форма ВПО-1 «Сведения о деятельности образовательного учреждения, реализующего программы высшего профессионального образования». URL: <https://minobrnauki.gov.ru/ru/activity/statan/stat/highed> (дата обращения: 30.04.2020).

References

1. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 29.03.2019 No. 377 «Ob utverzhdenii Gosudarstvennoy programmy Rossiyskoy Federatsii «Nauchno-tekhnologicheskoe razvitie Rossiyskoy Federatsii» (red., utv. Postanovleniem Pravitel'stva RF ot 31.03.2020 No. 390)* [Decree of the Government of the Russian Federation of March 29, 2019 No. 377 «On approval of the State Program of the Russian Federation «Scientific and technological development of the Russian Federation» (as amended, approved by Decree of the Government of the Russian Federation of March 31, 2020 No. 390)]. Available at: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=350194&fld=134&dst=100047,0&rnd=0.02430725466004313#020087617666097435> (accessed: 30.04.2020).
2. *Mezhdunarodnaya standartnaya klassifikatsiya obrazovaniya MSKO-2011* [International Standard Classification of Education ISCED-2011] *Institut statistiki YuNESKO* [Institute of UNESCO Statistics]. 87 p. Available at: <http://asv.mgsu.ru/universityabout/UMO-ASV/dokumenty/intredok/MSKO-2011.pdf> (accessed: 30.04.2020).
3. *Indikatory obrazovaniya: stat. sb. NIU VShE* [Education indicators: stat. Sat HSE] (2018). Available at: <https://www.hse.ru> (accessed: 27.04.2020).
4. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 24.09.2013 No. 842 «O poryadke prisuzhdeniya uchenykh stepeney»* [Decree of the Government of the Russian Federation of September 24, 2013 No. 842 «On the procedure for awarding academic degrees»].
5. Zubarev A.P., Skuratov A.K., Reimer K., Chernova I.N. (2018) *Modelirovanie vozrastnoy struktury i mobil'nosti nauchnykh kadrov* [Modeling the age structure and mobility of scientific personnel] *Matematicheskoe modelirovanie* [Mathematical modeling]. Vol. 30. No. 3. P. 67–82.
6. Orlov Yu.N., Suslin V.M. (2001) *Kineticheskie uravneniya v nelineynykh modelyakh demografii* [Kinetic equations in nonlinear demographic model] *Preprinty IPM im. M.V. Keldysha RAN* [KIAM Preprints M.V. Keldysh RAS]. 047.
7. Lotka A.J. (1907) Relation between birth rate and death rates. Science. V. 26.
8. Lotka A.J., Sharpe F.R. (1911) A problem in age-distribution. Philosophical Magazine. V. 21.
9. Kalitkin N.N., Koryakin P.V. (2013) *Chislennyye metody: v 2 kn. Kn. 2. Metody matematicheskoy fiziki: ucheb. dlya studentov uchrezhdeniy vys. prof. obr.* [Numerical methods: in 2 books. Prince 2. Methods of mathematical physics: textbook for students of institutions of higher prof. education] *Akademiya* [Akademiya]. Moscow. P. 304.
10. *Vserossiyskaya perepis' naseleniya 2010 g.* [All-Russian Population Census 2010]. Available at: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm (accessed: 30.04.2020).
11. *Statisticheskie sborniki VShE. Indikatory nauki* [HSE Statistical Collections. Indicators of science]. Available at: <https://www.hse.ru/primarydata/in2019> (accessed: 30.04.2020).

12. *Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossiyskoy Federatsii. Forma VPO-1 «Svedeniya o deyatelnosti obrazovatel'nogo uchrezhdeniya, realizuyushchego programmy vysshego professional'nogo obrazovaniya»* [The Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. Form VPO-1 «Information on the activities of an educational institution implementing a program of higher professional education»]. Available at: <https://minobrnauki.gov.ru/ru/activity/statan/stat/highed> (accessed: 30.04.2020).