

УДК 519.86

Н.А. Щукина

## ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОВНЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В РЕГИОНАХ РОССИИ

*Российский экономический университет имени*

*Г.В. Плеханова, Москва, Россия*

*Финансовый университет при Правительстве РФ,  
Москва, Россия*

*В статье рассматривается экономико-математический инструментарий решения проблемы комплексной оценки и повышения уровня общественного здоровья населения региона. В качестве влияющих факторов выступают основные показатели здоровья. На основе имеющихся статистических данных построены линейные модели интегральных показателей здоровья населения Российской Федерации и Волгоградской области. Проведен анализ их динамики за период с 2000 г. по 2014 г. На основе полученных значений комплексной оценки здоровья населения сформулирована и решена динамическая задача повышения значений интегрального показателя общественного здоровья населения Волгоградской области. В качестве фазовых переменных динамической модели выступают основные показатели здоровья, учитываемые при построении интегрального показателя, а управляющими переменными являются инвестиции в основной капитал региона по основным видам экономической деятельности. Информационную базу составляют данные о социально-экономическом развитии Волгоградской области за последние 15 лет. Представленная динамическая модель позволяет осуществить комплексную оценку здоровья населения региона в текущем и прогнозном периоде. Рассмотрены некоторые сценарии повышения значений интегрального показателя здоровья при различных ограничениях на величину инвестиций в основной капитал региона, проанализированы полученные решения. Предложенный сценарный подход может быть использован при оценке различных вариантов реализации стратегии регионального развития. Представленная в статье модель интегрального показателя позволяет провести комплексную оценку уровня здоровья населения региона в текущем периоде и может рассматриваться в качестве инструмента поддержки принятия решений при проведении многовариантного сценарного анализа стратегии регионального развития в области здравоохранения.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, здоровье населения, интегральный показатель здоровья, динамическое программирование, задача управления, комплексная оценка здоровья

**Введение.** На сегодняшний день известно более ста различных определений понятия «здоровье» [11, 32]. В 1947 г. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) определила здоровье как «состояние полного физического, душевного и социального благополучия, а не только отсутствие болезней и физических дефектов». Основные три компонента здоровья неразрывно связаны между собой и утрата одного из них изменяет значения остальных.

При оценке здоровья принято выделять три его уровня [7, 11, 25]: здоровье отдельного человека (индивидуальное здоровье); групповое

здоровье (здоровье социальных, этнических групп, населения; административных территорий); общественное здоровье (здоровье общества, субпопуляции в целом). Характеристики группового и общественного здоровья рассматриваются как интегральное понятие индивидуального здоровья и являются совокупностью различных взаимосвязанных данных, выраженных как количественными, так и качественными показателями.

Основой для построения большинства математических моделей в области здравоохранения служат результаты статистических исследований, которые используют аппарат теории вероятностей и математической статистики [3, 4, 5, 9, 13, 14, 16, 17, 19, 22, 23]. Появление современных статистических пакетов, пакетов символьной математики и имитационного моделирования позволяет написать программы, облегчающие манипулирование с громоздкими выражениями [15, 18, 29]. В некоторых случаях для оценки здоровья населения удобно использовать единый критерий – интегральный показатель (ИП), который учитывает комплексное влияние различных факторов и обобщает информацию о различных аспектах состояния здоровья населения. На необходимость разработки интегральных показателей здоровья населения указывали и известные отечественные учёные Н.М. Амосов, Ю.П. Лисицын [1, 8] и другие. Модели, связанные с оценкой здоровья населения с помощью единого критерия, занимают значительное место среди математических моделей в области здравоохранения [2, 7, 12].

Данная работа посвящена построению динамической модели задачи максимизации уровня здоровья населения, определенного с помощью интегрального показателя на примере Волгоградской области.

**Линейная модель интегрального показателя общественного здоровья населения.** Наиболее простыми среди математических моделей являются линейные. В общем виде линейную модель интегрального показателя можно задать в виде [7]:

$$ИП = A - B + c = \sum_{i=1}^n K_i ПЗ_i + c, \quad (1)$$

где  $A$  и  $B$  – обобщенные составляющие модели, положительное приращение которых увеличивает и уменьшает соответственно приращение интегрального показателя, а величина  $c = \text{const}$  – среднее значение ИП. В качестве показателей здоровья  $ПЗ_i$  могут выступать факторы, оказывающее наибольшее влияние на интегральный показатель,  $K_i$  – весовые коэффициенты.

Для оценки здоровья населения различных регионов и их сравнения между собой наиболее эффективно использовать нормированный интегральный показатель  $ИП \in [0;1]$ . Вклад  $w_i$  каждого из показателей

здоровья  $ПЗ_i$ , включенного в модель, можно определить на основании мнения экспертов с учетом  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ . Весовые коэффициенты  $K_i$  соответствующего показателя найдем по формуле  $K_i = \frac{w_i}{ПЗ_i}$ . Тогда среднее значение суммы  $A+B$ , которое гарантирует изменение интегрального показателя в указанном промежутке, определяется по эмпирической формуле [7]

$$A+B = \frac{1.1}{(1+n)^k} \quad (2)$$

где  $n$  – число подсистем в системе, не имеющих собственных подсистем,  $k \in [0.2; 0.3]$  – число, зависящее от степени разброса параметров системы. Для оценки общественного здоровья населения России в работе [6] рекомендуется принять значение  $k = 0.24$ . А число  $n$  соответствует числу субъектов Российской Федерации.

Для построения линейной модели (1) интегрального показателя общественного здоровья населения можно использовать как стандартные показатели здоровья населения, которые ежегодно публикуются Федеральной службой государственной статистики, так и специальные. Большое число включенных в модель факторов может существенно ее усложнить. Поэтому включим в нее пять основных факторов, учитывающих общие показатели рождаемости, смертности, продолжительности предстоящей жизни и инвалидности. Официальные статистические данные не учитывают, например, значения исчерпанной заболеваемости, значения индекса физического состояния, поэтому не могут быть использованы для построения модели интегрального показателя здоровья. Для доступности и применимости методики построения модели интегрального показателя общественного здоровья населения всех регионов Российской Федерации будем использовать основные показатели здоровья  $ПЗ_i$ , которые ежегодно публикуются Федеральной службой государственной статистики:

$$\begin{aligned} ИП = & K_{ОКР} \cdot y_{ОКР} + K_{СППЖ} \cdot y_{СППЖ} - K_{ОЗО} \cdot y_{ОЗО} - \\ & - K_{ОКС} \cdot y_{ОКС} - K_{ПИНВ} \cdot y_{ПИНВ} + c \end{aligned} \quad (3)$$

где  $y_{ОКР}$  – общий коэффициент рождаемости (младенцев, родившихся живыми),  $y_{СППЖ}$  – средняя продолжительность предстоящей жизни (при рождении),  $y_{ОЗО}$  – общая заболеваемость населения по обращаемости в учреждения здравоохранения,  $y_{ОКС}$  – общий коэффициент смертности и  $y_{ПИНВ}$  – первичная инвалидность (общая).

Воспользуемся методикой расчета интегрального показателя здоровья, приведенной в [7, 10], для определения ИП общественного здоровья населения РФ и Волгоградской области в период с 2000 г. по 2014 г. на основе модели (3).

1. Согласно формуле (2), находим  $A + B = \frac{1.1}{(1 + 83)^{2.4}} = 0.37981$ , где

значение  $n = 83$  соответствует числу субъектов РФ (без учета города федерального значения Севастополь и республики Крым).

2. Так как для модели (3) экспертами [6] рекомендовано принять следующие значения вкладов соответствующих показателей  $w_{ОКР} = w_{ОЗО} = w_{ПИНВ} = 0.25(A + B)$ ,  $w_{СППЖ} = w_{ОКС} = 0.125(A + B)$ . Поэтому  $w_{ОКР} = w_{ОЗО} = w_{ПИНВ} = 0.094952$ ,  $w_{СППЖ} = w_{ОКС} = 0.047476$ . Следовательно, находим значения составляющих  $A = w_{ОКР} + w_{СППЖ} = 0.142429$ ,  $B = w_{ОЗО} + w_{ОКС} + w_{ПИНВ} = 0.237381$ .

3. С помощью полученных значений вкладов показателей здоровья и их средних значений, вычисленных на основе статистических данных, находим весовые коэффициенты модели интегрального показателя здоровья населения Российской Федерации:

$$K_{ОКР} = \frac{w_{ОКР}}{\overline{ОКР}} = \frac{0.094952}{11.26667} = 0.008428, \quad K_{СППЖ} = \frac{w_{СППЖ}}{\overline{СППЖ}} = \frac{0.047476}{67.52067} = 0.000703,$$

$$K_{ОЗО} = \frac{w_{ОЗО}}{\overline{ОЗО}} = \frac{0.094952}{765.0933} = 0.000124, \quad K_{ОКС} = \frac{w_{ОКС}}{\overline{ОКС}} = \frac{0.047476}{14.72667} = 0.003224 \quad \text{и}$$

$$K_{ПИНВ} = \frac{w_{ПИНВ}}{\overline{ПИНВ}} = \frac{0.094952}{9.483333} = 0.010013,$$

где  $\overline{ОКР}$ ,  $\overline{СППЖ}$ ,  $\overline{ОЗО}$ ,  $\overline{ОКС}$ ,  $\overline{ПИНВ}$  – средние значения соответствующих показателей за рассматриваемый период, рассчитанные по статистическим данным [20, 21].

Аналогично находим весовые коэффициенты модели ИП здоровья населения Волгоградской области:

$$K_{ОКР} = 0.009213, \quad K_{СППЖ} = 0.000692, \quad K_{ОЗО} = 0.000134, \quad K_{ОКС} = 0.003206 \quad \text{и}$$

$$K_{ПИНВ} = 0.009996,$$

4. Вычислим значение постоянной  $c$  в модели (3). Полагаем, что для нормированного значения ИП среднее значение соответствует  $\overline{ИП} = 0.5A - 0.5B + c = 0.5$ . Следовательно, для оценки общественного здоровья населения по модели (3) находим среднее значение  $c = 0.5 - 0.5(B - A) = 0.5 - 0.5(0.237381 - 0.142429) = 0.547476$ .

Таким образом, построенные линейные модели интегрального показателя общественного здоровья населения Российской Федерации и Волгоградской области в период с 2000 г. по 2014 г. по (3) принимают вид:

$$ИП_{РФ} = 0.008428 \cdot y_{ОКР} + 0.000703 \cdot y_{СППЖ} - 0.000124 \cdot y_{ОЗО} - 0.003224 \cdot y_{ОКС} - 0.010013 \cdot y_{ПИНВ} + 0.547476, \quad (4)$$

$$ИП_{Волг.обл.} = 0.009213 \cdot y_{ОКР} + 0.000692 \cdot y_{СППЖ} - 0.000134 \cdot y_{ОЗО} - 0.003206 \cdot y_{ОКС} - 0.009996 \cdot y_{ПИНВ} + 0.547476. \quad (5)$$

Динамика изменения значений интегральных показателей общественного здоровья населения Российской Федерации и Волгоградской области, рассчитанных по формулам (4) и (5) за период с 2000 г. по 2014 г. представлена на Рисунке 1.

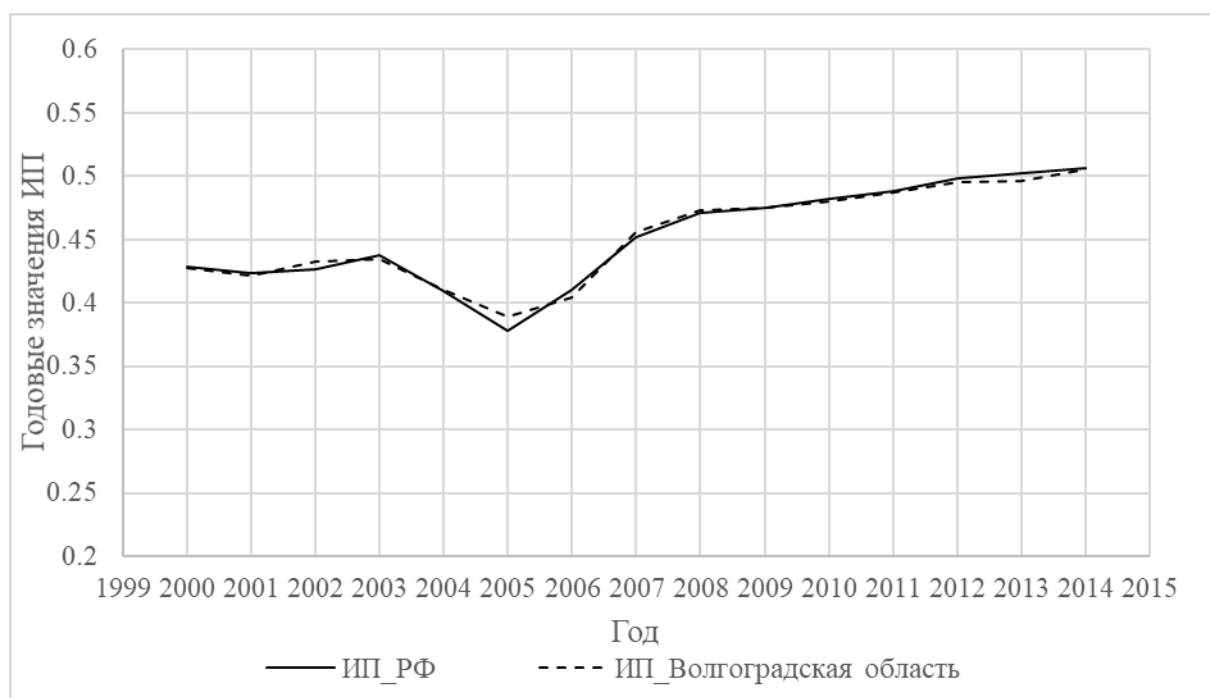


Рисунок 1 – Динамика интегральных показателей здоровья населения Российской Федерации и Волгоградской области

Как следует из Рисунка 1, в период с 2003 г. по 2005 г. наблюдается снижение ИП общественного здоровья населения РФ и Волгоградской области с уровня  $ИП_{РФ}(2003) = 0.437396$  и  $ИП_{Волг.обл.}(2003) = 0.434900$  до минимальных значений за исследуемый период  $ИП_{РФ}(2005) = 0.378105$  и  $ИП_{Волг.обл.}(2005) = 0.389093$  соответственно. При этом заметим, что за весь рассматриваемый период наблюдений значения интегрального показателя здоровья как населения Волгоградской области, так и населения Российской Федерации в целом не достигли своего среднего значения  $c = 0.547476$ , хотя в период с 2005 г. по 2014 г. наблюдается тенденция к увеличению данного показателя.

**Динамическая модель повышения уровня здоровья населения Волгоградской области.** Большинство факторов, оказывающих

значительное влияние на показатели здоровья населения, зависят не только от эффективности работы системы здравоохранения, но и от образа жизни населения, социально-экономических условий жизни, качества окружающей среды рассматриваемого региона и его социально-экономического развития. Эти факторы условно можно разделить на несколько групп: факторы здравоохранения; денежные доходы населения; факторы образования, культуры и спорта; потребление различных видов продуктов питания; метеорологические факторы; качество воздушной среды; качество питьевой воды. Каждая из перечисленных групп факторов включает в себя большое число признаков, влияние которых на демографические индикаторы здоровья населения выявлено, например, в [17, 18, 19, 24, 26, 27, 28, 30, 31].

Рассмотрим динамическую задачу повышения значений уровня общественного здоровья населения Волгоградской области за период с 2000 г. по 2014 г. Сформулируем задачу в виде многошагового процесса принятия решения и решим ее, используя принцип оптимальности Беллмана. В качестве фазовых переменных будем рассматривать показатели здоровья, от которых зависит интегральный показатель в модели (5):  $y_{OKP}(t)$  – общий коэффициент рождаемости (младенцев, родившихся живыми),  $y_{СППЖ}(t)$  – средняя продолжительность предстоящей жизни (при рождении),  $y_{ОЗО}(t)$  – общая заболеваемость населения по обращаемости в учреждения здравоохранения,  $y_{ОКС}(t)$  – общий коэффициент смертности и  $y_{ПИНВ}(t)$  – первичная инвалидность (общая). В качестве управляющих переменных будем рассматривать инвестиции в основной капитал Волгоградской области по некоторым видам экономической деятельности:  $x_1$  – инвестиции в образование, в млн. руб.;  $x_2$  – инвестиции в здравоохранение и предоставление социальных услуг, в млн. руб.;  $x_3$  – инвестиции в предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг, в млн. руб.;  $x_4$  – инвестиции в обрабатывающую промышленность, в млн. руб.;  $x_5$  – инвестиции в сельское хозяйство, охоту и лесное хозяйство, в млн. руб.

Будем полагать, что фазовые переменные можно представить в виде мультипликативной производственной функции Кобба-Дугласа от управляющих переменных и соответствующего значения фазовой переменной в предыдущий момент времени, т.е.

$$\begin{aligned}y_{OKP}(t) &= A_{окр} x_1^{\alpha_{1окр}}(t) x_2^{\alpha_{2окр}}(t) x_3^{\alpha_{3окр}}(t) x_4^{\alpha_{4окр}}(t) x_5^{\alpha_{5окр}}(t) y_{OKP}^{\beta_{окр}}(t-1), \\y_{СППЖ}(t) &= A_{стпж} x_1^{\alpha_{1стпж}}(t) x_2^{\alpha_{2стпж}}(t) x_3^{\alpha_{3стпж}}(t) x_4^{\alpha_{4стпж}}(t) x_5^{\alpha_{5стпж}}(t) y_{СППЖ}^{\beta_{стпж}}(t-1), \\y_{ОЗО}(t) &= A_{озо} x_1^{\alpha_{1озо}}(t) x_2^{\alpha_{2озо}}(t) x_3^{\alpha_{3озо}}(t) x_4^{\alpha_{4озо}}(t) x_5^{\alpha_{5озо}}(t) y_{ОЗО}^{\beta_{озо}}(t-1),\end{aligned}$$

$$y_{ОКС}(t) = A_{окс} x_1^{\alpha_{1окс}}(t) x_2^{\alpha_{2окс}}(t) x_3^{\alpha_{3окс}}(t) x_4^{\alpha_{4окс}}(t) x_5^{\alpha_{5окс}}(t) y_{ОКС}^{\beta_{окс}}(t-1),$$

$$y_{ПИНВ}(t) = A_{пнв} x_1^{\alpha_{1пнв}}(t) x_2^{\alpha_{2пнв}}(t) x_3^{\alpha_{3пнв}}(t) x_4^{\alpha_{4пнв}}(t) x_5^{\alpha_{5пнв}}(t) y_{ПИНВ}^{\beta_{пнв}}(t-1),$$

где  $A_{окр} > 0$ ,  $A_{сплж} > 0$ ,  $A_{озо} > 0$ ,  $A_{окс} > 0$ ,  $A_{пнв} > 0$ ,  $\sum_{i=1}^5 \alpha_{iокр} + \beta_{окр} = 1$ ,

$$\sum_{i=1}^5 \alpha_{iсплж} + \beta_{сплж} = 1, \sum_{i=1}^5 \alpha_{iозо} + \beta_{озо} = 1, \sum_{i=1}^5 \alpha_{iокс} + \beta_{окс} = 1, \sum_{i=1}^5 \alpha_{iпнв} + \beta_{пнв} = 1.$$

В качестве начальных значений фазовых переменных взяты фактические значения соответствующих показателей здоровья за 2000 г.

Используя значения ИП, вычисленные по модели (5), и статистические данные о размере инвестиций в основной капитал Волгоградской области по некоторым видам экономической деятельности [20], методом наименьших квадратов находим окончательные выражения для фазовых переменных динамической модели:

$$y_{ОКР}(t) = 0.959 x_1^0(t) x_2^{0.01}(t) x_3^{0.001}(t) x_4^{0.001}(t) x_5^{0.001}(t) y_{ОКР}^{0.987}(t-1),$$

$$y_{СПЛЖ}(t) = 0.961 x_1^{0.002}(t) x_2^0(t) x_3^0(t) x_4^{0.007}(t) x_5^{0.001}(t) y_{СПЛЖ}^{0.99}(t-1),$$

$$y_{ОЗО}(t) = 0.951 x_1^0(t) x_2^{0.007}(t) x_3^{0.012}(t) x_4^{0.016}(t) x_5^{0.002}(t) y_{ОЗО}^{0.963}(t-1),$$

$$y_{ОКС}(t) = 0.965 x_1^0(t) x_2^{0.0015}(t) x_3^{0.002}(t) x_4^{0.0015}(t) x_5^0(t) y_{ОКС}^{0.995}(t-1),$$

$$y_{ПИНВ}(t) = 0.665 x_1^0(t) x_2^{0.023}(t) x_3^{0.014}(t) x_4^{0.038}(t) x_5^0(t) y_{ПИНВ}^{0.925}(t-1).$$

Для математической постановки задачи динамического программирования будем полагать, что сумма инвестиций в основной капитал Волгоградской области по рассматриваемым видам экономической деятельности в каждый рассматриваемый период не должна превышать ее фактического значения, т.е.  $\sum_{i=1}^5 x_i(t) \leq X(t)$ , где  $X(t)$

– сумма инвестиций в основной капитал в период  $t$ ,  $t=1,2,\dots,14$ . А для того, чтобы регион мог осуществлять все виды экономической деятельности в запланированном объеме, необходимо, чтобы величина инвестиций в соответствующий вид экономической деятельности в каждый период времени была не меньше его минимального значения за весь рассматриваемый период с 2000 г. по 2014 г., т.е.  $x_i(t) \geq \min_{0 \leq t \leq 14} x_i(t)$ .

Таким образом, получаем математическую постановку задачи повышения уровня интегрального показателя здоровья населения Волгоградской области:

$$ИП(T) = 0.009213 \cdot y_{ОКР}(T) + 0.000692 \cdot y_{СПЛЖ}(T) - 0.000134 \cdot y_{ОЗО}(T) -$$

$$- 0.003206 \cdot y_{ОКС}(T) - 0.009996 \cdot y_{ПИНВ}(T) + 0.547476 \rightarrow \max, \quad (6)$$

$$y_{OKP}(t) = 0.959x_1^0(t)x_2^{0.01}(t)x_3^{0.001}(t)x_4^{0.001}(t)x_5^{0.001}(t)y_{OKP}^{0.987}(t-1),$$

$$(7) y_{СПИЖ}(t) = 0.961x_1^{0.002}(t)x_2^0(t)x_3^0(t)x_4^{0.007}(t)x_5^{0.001}(t)y_{СПИЖ}^{0.99}(t-1),$$

(8)

$$y_{ОЗО}(t) = 0.951x_1^0(t)x_2^{0.007}(t)x_3^{0.012}(t)x_4^{0.016}(t)x_5^{0.002}(t)y_{ОЗО}^{0.963}(t-1), \quad (9)$$

$$y_{OKC}(t) = 0.965x_1^0(t)x_2^{0.0015}(t)x_3^{0.002}(t)x_4^{0.0015}(t)x_5^0(t)y_{OKC}^{0.995}(t-1), \quad (10)$$

$$y_{ПННВ}(t) = 0.665x_1^0(t)x_2^{0.023}(t)x_3^{0.014}(t)x_4^{0.038}(t)x_5^0(t)y_{ПННВ}^{0.925}(t-1), \quad (11)$$

$$y_{OKP}(0) = 8.2, y_{СПИЖ}(0) = 66.44, y_{ОЗО}(0) = 698.8,$$

$$y_{OKC}(t) = 15.2, y_{ПННВ}(t) = 9.93, \quad (12)$$

$$x_1(t) \geq 93.66, x_2(t) \geq 81.60, x_3(t) \geq 73.10,$$

$$x_4(t) \geq 6402.90, x_5(t) \geq 495.19, \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^5 x_i(t) \leq X(t), t = 1, 2, \dots, T, T = 14, \quad (14)$$

причем  $\sum_{i=1}^5 x_{i \min} \leq \min_{0 \leq t \leq 14} X(t) = 7260.97.$  (15)

Уравнения (6) – (15) представляют собой математическую постановку задачи оптимального управления с целевой функцией (6), фазовыми переменными (7) – (11), начальными условиями (12) и системой ограничений (13) – (15).

Для решения задачи динамического программирования максимизации уровня общественного здоровья населения составим рекуррентные уравнения Беллмана:

$$F(y(T), T) = ИП(T),$$

$$F(y(t), t) = \max F(f(y(t), x(t+1)), t+1), t = 0, 1, \dots, T-1,$$

где  $f(y(t), x(t+1))$  – вектор-функция фазовых изменений, определяемых согласно выражениям (7) – (11).

**Полученные результаты.** Результаты решения поставленной задачи динамического программирования (6) – (15) приведены в Таблице 1, которая показывает, каким образом необходимо распределить инвестиции в основной капитал региона по видам экономической деятельности, чтобы достичь максимального значения интегрального показателя здоровья населения за период с 2000 г. По 2014 г.

На Рисунке 2 представлены график значений ИП общественного здоровья населения Волгоградской области, найденный по модели (5) и график значений интегрального показателя здоровья, полученных в результате решения задачи (6) – (15). Как видно из представленных графиков, значения ИП, полученные в результате решения задачи динамического программирования позволяют увеличить значения ИП к



2014 г. При этом следует заметить, что при распределении инвестиций в основной капитал региона по видам экономической деятельности необходимо увеличивать долю инвестиций в здравоохранение и предоставление социальных услуг, а также уменьшать долю инвестиций в обрабатывающую промышленность по сравнению с фактическими значениями. Из Таблицы 1 и Рисунка 2 видно, что в 2014 г. расчетное значение ИП здоровья населения впервые за весь период наблюдения превышает среднее значение  $c = 0.547476$  и составляет  $IIP(14) = 0.563771$ .

Таблица 1 – Результаты решения динамической задачи повышения значений интегрального показателя здоровья населения

Период	Фактическое распределение инвестиций в основной капитал по видам экономической деятельности, млн. руб.					Распределение инвестиций в основной капитал по видам экономической деятельности, млн. руб.				
	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$x_3(t)$	$x_4(t)$	$x_5(t)$	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$x_3(t)$	$x_4(t)$	$x_5(t)$
0	126,7	149,7	86,5	6402,9	495,2	–	–	–	–	–
1	114,2	81,6	98,7	6691,2	750,7	93,7	460,2	284,5	6402,9	495,2
2	93,7	149,9	73,1	6818,1	1030,2	93,7	725,7	447,45	6402,9	495,2
3	110,8	974,8	88,6	6779,1	930,5	93,7	1170,6	721,4	6402,9	495,2
4	253,5	338,0	104,9	9829,9	1746,3	93,7	3264,4	2016,5	6402,9	495,2
5	194,1	506,4	225,4	9122,7	1409,7	93,7	2757,0	1709,6	6402,9	495,2
6	421,0	1304,6	484,4	9802,2	1823,3	93,7	4217,8	2625,9	6402,9	495,2
7	1016,7	1591,8	795,4	14412,4	3209,0	127,5	6834,4	4281,7	9255,2	526,5
8	1278,0	2204,0	1452,0	18965,0	2883,0	152,3	8645,3	5456,7	11887,4	640,3
9	837,8	2490,9	923,6	9646,6	2340,1	93,7	5177,9	3284,9	7187,3	495,2
10	620,4	2230,3	1836,1	11246,4	3045,6	99,4	6051,2	3856,2	8476,8	495,2
11	1065,4	1347,9	1285,1	21787,1	2809,2	140,1	9005,1	5770,9	12765,87	612,8
12	1451,6	2664,3	722,8	27450,9	4172,1	168,5	11534,2	7438,0	16568,2	752,8
13	1545,8	2223,7	851,1	33083,9	4629,4	182,0	13311,4	8636,9	19372,0	831,6
14	2689,3	1379,9	1100,0	70314,0	3410,2	307,0	24633,1	16088,7	36416,3	1448,4

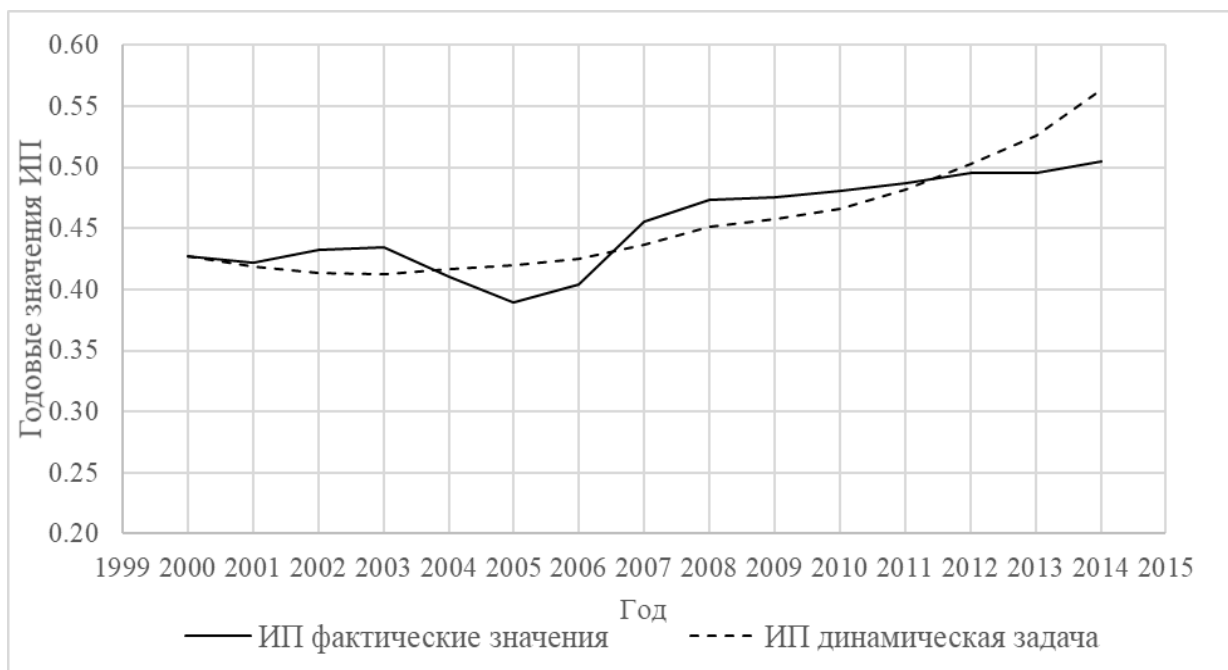


Рисунок 2 – Графики фактических значений ИП и значений, полученных в результате решения задачи динамического программирования

**Моделирование значений интегрального показателя здоровья Волгоградской области при различных сценариях развития региона.** Рассмотрим динамическую задачу (6) – (15) изменения значений интегрального показателя здоровья при различных сценариях поступления инвестиций в основной капитал региона по некоторым видам экономической деятельности. Выясним, какие последствия для показателей здоровья населения будут иметь увеличение или снижение как общего финансирования Волгоградской области, так и изменение доли инвестиций в отдельные виды экономической деятельности и изменение их минимальных значений.

**Сценарий 1.** Рассмотрим ситуацию увеличения ежегодных суммарных инвестиций в основной капитал региона на 10% по сравнению с фактическими значениями за исследуемый период времени. Решим динамическую задачу оптимального управления (6) – (15) с ограничениями (15) в виде  $\sum_{i=1}^5 x_i(t) \leq 1.1X(t)$ ,  $t=1,2,\dots,T$ ,  $T=14$ . В результате проведения вычислений, получаем, что значение интегрального показателя здоровья населения в 2014 г. увеличивается на 4.8% по сравнению с решением динамической задачи (6) – (15) и на 17% по сравнению с фактическим значением и составляет  $IPI(14)=0.590840$ . Результаты решения поставленной задачи максимизации ИП общественного здоровья населения и соответствующее ежегодное распределение инвестиции в

основной капитал региона по видам экономической деятельности приведены в Таблице 2.

Таблица 2 – Результаты решения динамической задачи повышения значений интегрального показателя здоровья населения при развитии сценария 1

Период	Значения интегрального показателя здоровья населения		Распределение инвестиций в основной капитал по видам экономической деятельности, млн. руб.				
	$IIP(t)$ , фактическое значение	$IIP(t)$ , сценарий 1	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$x_3(t)$	$x_4(t)$	$x_5(t)$
0	0,427418	0,427418	–	–	–	–	–
1	0,421647	0,423327	93,66	937,87	580,48	6402,90	495,19
2	0,432276	0,421386	93,66	1229,08	760,55	6402,90	495,19
3	0,434900	0,425263	93,66	1716,89	1063,44	6402,90	495,19
4	0,410040	0,427381	93,66	4014,19	2493,92	6402,90	495,19
5	0,389093	0,431083	93,66	3456,19	2156,19	6402,90	495,19
6	0,404548	0,437725	93,66	4916,91	3080,48	6632,81	495,19
7	0,455572	0,450251	133,39	7482,22	4717,38	10231,27	563,57
8	0,473002	0,466340	159,08	9465,42	6011,16	13139,89	684,65
9	0,475175	0,473651	93,66	5682,89	3627,36	7963,80	495,19
10	0,480273	0,484050	103,64	6636,99	4255,04	9385,82	495,19
11	0,487232	0,501608	145,60	9860,76	6355,88	14108,28	653,65
12	0,495797	0,523961	174,91	12632,51	8190,78	18307,12	802,56
13	0,495952	0,549660	188,66	14582,08	9509,60	21400,86	886,09
14	0,504933	0,590840	317,72	26993,53	17710,63	40218,39	1542,48

Как видно из Таблицы 2, при увеличении ежегодных суммарных инвестиций на 10% для достижения максимального значения интегрального показателя здоровья необходимо увеличить долю инвестиций в здравоохранение и предоставление социальных услуг, а также в предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг.

**Сценарий 2.** Рассмотрим случай уменьшения ежегодных суммарных инвестиций в основной капитал региона на 5% по сравнению с фактическими значениями за исследуемый период времени. Решим динамическую задачу оптимального управления (6) – (15) с ограничениями

(15) в виде  $\sum_{i=1}^5 x_i(t) \leq 0.95X(t)$ ,  $t=1,2,\dots,T$ ,  $T=14$ . В результате

проведения вычислений, получаем, что значение интегрального показателя здоровья населения в 2014 г. уменьшается на 3% по сравнению с решением динамической задачи (6) – (15) и составляет  $IIP(14) = 0.547036$ . Тем не менее, полученное значение ИП на 8.3% превышает фактическое значение интегрального показателя здоровья, рассчитанного по модели (5). Результаты решения данной динамической задачи приведены в Таблице 3.

Таблица 3 – Результаты решения динамической задачи повышения значений интегрального показателя здоровья населения при развитии сценария 2

Период	Значения интегрального показателя здоровья населения		Распределение инвестиций в основной капитал по видам экономической деятельности, млн. руб.				
	$ИП(t)$ , фактическое значение	$ИП(t)$ , сценарий 2	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$x_3(t)$	$x_4(t)$	$x_5(t)$
0	0,427418	0,427418	–	–	–	–	–
1	0,421647	0,413379	93,66	221,28	136,61	6402,90	495,19
2	0,432276	0,406982	93,66	473,79	291,11	6402,90	495,19
3	0,434900	0,404335	93,66	897,36	550,42	6402,90	495,19
4	0,410040	0,408921	93,66	2890,72	1776,50	6402,90	495,19
5	0,389093	0,410905	93,66	2408,10	1485,53	6402,90	495,19
6	0,404548	0,416184	93,66	3799,04	2352,93	6402,90	495,19
7	0,455572	0,426820	125,77	6516,77	4061,89	8759,27	510,33
8	0,473002	0,440530	150,35	8242,23	5177,10	11252,49	620,72
9	0,475175	0,446198	93,66	4929,83	3112,83	6795,54	495,19
10	0,480273	0,454707	98,06	5762,65	3655,61	8018,36	495,19
11	0,487232	0,469671	138,37	8582,44	5476,29	12088,83	595,03
12	0,495797	0,488901	166,52	10990,86	7059,01	15692,43	729,79
13	0,495952	0,511070	179,92	12681,87	8197,72	18351,58	806,11
14	0,504933	0,547037	303,60	23462,13	15272,89	34506,22	1403,89

Таким образом, для достижения максимального значения интегрального показателя общественного здоровья населения Волгоградской области при снижении ежегодных суммарных инвестиций на 5% необходимо увеличивать долю инвестиций в здравоохранение и предоставление социальных услуг, а также в предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг по сравнению с их фактическими значениями.

**Сценарий 3.** Пусть величина минимальных инвестиций в основной капитал региона в обрабатывающую промышленность уменьшится на 10% по сравнению с фактическими значениями за исследуемый период времени. Решим задачу оптимального управления (6) – (15), где система ограничений (13) примет вид:  $x_1(t) \geq 93.66$ ,  $x_2(t) \geq 81.60$ ,  $x_3(t) \geq 73.10$ ,  $x_4(t) \geq 5762.61$ ,  $x_5(t) \geq 495.19$ ,  $t = 1, 2, \dots, 14$ .

В результате решения полученной задачи динамического программирования, получаем, что значение интегрального показателя здоровья населения в 2014 г. незначительно увеличивается по сравнению с решением динамической задачи (6) – (15) и составляет  $ИП(14) = 0.569430$ . Результаты полученного решения приведены в Таблице 4.

Таблица 4 – Результаты решения динамической задачи повышения значений интегрального показателя здоровья населения при развитии сценария 3

Период	Значения интегрального показателя здоровья населения		Распределение инвестиций в основной капитал по видам экономической деятельности, млн. руб.				
	$IIP(t)$ , фактическое значение	$IIP(t)$ , сценарий 3	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$x_3(t)$	$x_4(t)$	$x_5(t)$
0	0,427418	0,427418	–	–	–	–	–
1	0,421647	0,422092	93,66	855,69	529,32	5762,61	495,19
2	0,432276	0,419064	93,66	1120,76	692,67	5762,61	495,19
3	0,434900	0,418141	93,66	1564,81	967,44	5762,61	495,19
4	0,410040	0,422861	93,66	3655,52	2265,62	5762,61	495,19
5	0,389093	0,425454	93,66	3148,34	1958,60	5762,61	495,19
6	0,404548	0,430926	93,66	4466,70	2789,34	5990,60	495,19
7	0,455572	0,442099	124,43	6822,34	4286,37	9270,73	521,42
8	0,473002	0,456665	148,83	8631,90	5462,09	11904,52	634,66
9	0,475175	0,462702	93,66	5169,13	3287,01	7194,01	495,19
10	0,480273	0,471717	97,30	6042,72	3859,06	8484,53	495,19
11	0,487232	0,487561	137,28	8995,29	5775,72	12777,58	608,82
12	0,495797	0,507920	165,30	11523,28	7443,71	16580,89	748,51
13	0,495952	0,531380	178,70	13300,48	8643,02	19384,29	827,41
14	0,504933	0,569430	301,65	24616,06	16098,96	36434,74	1442,00

Анализируя результаты решения задачи динамического программирования (6) – (14) при различных ограничениях как на суммарные ежегодные значения инвестиций в основной капитал Волгоградской области по различным видам экономической деятельности, так и на их минимально возможные значения, можно сказать, что для получения более высоких значений интегрального показателя общественного здоровья населения региона необходимо увеличивать долю инвестиций в здравоохранение и оказание социальных услуг, а также в предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг и снижать долю инвестиций в обрабатывающую промышленность по сравнению с их фактическими значениями.

Построенная модель интегрального показателя общественного здоровья населения адекватно реагирует на изменение управляющих переменных и может быть использована для дальнейших исследований состояния здоровья как рассмотренного региона, так и других субъектов Российской Федерации.

**Заключение.** Здоровье населения – один из важнейших показателей социально-экономического развития населения как отдельно взятого региона, так и общества в целом. Одним из инструментов в решении задачи дифференциации регионов по общему уровню здоровья населения может послужить модель интегрального показателя, построенного по основным показателям здоровья, которые ежегодно публикуются

Федеральной службой государственной статистики, так и на основе специальных показателей, разработанных отдельными регионами. Совершенствование предложенной модели и практика оценки ее качества на основе включенных в модель показателей могут способствовать решению задачи сбалансированного развития региона. Использование вычислительных возможностей программных комплексов в анализе эффективности управления уровнем общественного здоровья населения региона позволяет существенно повысить его значения.

Результаты предложенной методики оценки общественного здоровья населения позволяют осуществить комплексную оценку здоровья населения региона в текущем и прогнозном периоде. Предлагаемый сценарный подход может быть использован при оценке реализации различных вариантов стратегии регионального развития.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Амосов Н.М. Раздумья о здоровье. – М.: Молодая гвардия, 1978. – 192 с.
2. Гуммель В.К. Моделирование динамики уровня здоровья населения Кемеровской области на основе интегрального показателя// Образование, наука, инновации: вклад молодых исследователей: материалы XI (XLIII) Межд. научно-практ. конф./ Кемеровский гос. ун-т. – Кемерово, 2016. – С. 763-765.
3. Здоровье населения России: влияние окружающей среды в условиях изменяющегося климата: монография. Под общ. ред. А.И. Григорьева. – М.: Наука. – 2014. – 428 с.
4. Игнатъев В.М. Статистическое моделирование демографических показателей здоровья населения региона/ Актуальные вопросы экономических наук. 2005. – № 31. – С. 106-110.
5. Игнатъев В.М., Игнатъева С.Н. Зависимости показателей здравоохранения от социально-экономических факторов/ Известия ВУЗов. Северо - Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2004. – № 1. – С. 72-76.
6. Кирьянов Б.Ф. К проблеме определения весовых коэффициентов параметров линейных моделей интегральных показателей качества систем// Вестник НовГУ. – 2007. – № 44. – С. 33-37.
7. Кирьянов Б.Ф., Токмачев М.С. Математические модели в здравоохранении: монография/ Б.Ф. Кирьянов, М.С. Токмачев; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2009. – 305 с.
8. Лисицын Ю.П. Здоровье населения и современные теории медицины. – М.: Медицина, 1982. – 287 с.
9. Лошаков А.А. Статистический анализ показателей здоровья населения на региональном уровне/ Транспортное дело России. 2010. – № 8. – С. 5-9.

10. Медик В.А., Токмачев М.С. Моделирование интегральных показателей оценки здоровья населения/ Здравоохранение Российской Федерации. – 2003. – № 3. – С.17-20.
11. Медик В.А., Токмачев М.С., Фишман Б.Б. Статистика в медицине и биологии. Том 2. Прикладная статистика здоровья – М.: Медицина, 2001. – 352 с.
12. Мешечкин В.В., Богатырева Н.И. Математическое моделирование задачи повышения уровня здоровья населения Кемеровской области с применением интегрального показателя/ Вестник Кемеровского государственного университета. 2011. – № 3(47). – С. 76-85.
13. Моделирование и прогнозирование здоровья населения и стратегии управления здравоохранением/ А.И. Вялков, Д.И. Кича, В.О. Гурдус [и др.]. – Воронеж: Истоки. – 2001. – 200 с.
14. Молчанов В.А. Принципы динамического моделирования здоровья населения. – Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2016). Материалы IX Международной конференции: в 2-х т. Под общ. ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – 2016. – С. 390-393.
15. Некрасов П. В., Чичкин С. Н. Возможность применения компьютерного моделирования при изучении и дальнейшем прогнозировании динамики заболеваемости населения на территории Пензенской области [Текст]// Медицина: вызовы сегодняшнего дня: материалы междунар. науч. конф. (г. Челябинск, июнь 2012 г.). – Челябинск: Два комсомольца, 2012. – С. 92-94.
16. Нижегородцев Р.М., Пискун Е.И., Кудревич В.В. Прогнозирование показателей социально- экономического развития региона // Экономика региона. – 2017. – Т. 13, вып. 1. – С. 38–48.
17. Тихомирова Т.М. Методы анализа состояния и потерь здоровья населения в регионах России: Монография. – Москва. – 2012. – 352 с.
18. Токмачев М.С. Статистический прогноз здоровья населения региона на основе математического и компьютерного моделирования// Вестник Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого. – 2010. – № 6. – С. 56-61.
19. Цинкер М.Ю., Кирьянов Д.А., Клейн С.В. Статистическое моделирование для оценки влияния факторов среды обитания на индикаторные показатели здоровья населения Российской Федерации/ Здоровье населения и среда обитания. – 2013. – №11. – С. 10-13.
20. Регионы России. Социально-экономические показатели. Статистический сборник. М. – 2003 – 2015.
21. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/)

22. Chiang CL. An index of health: mathematical models. Vital Health Stat 2. 1965. No. 5.
23. Friedman DJ, Starfield B. Models of population health: their value for US public health practice, policy, and research. Am J Public Health. 2003. No. 93. Pp. 366-369.
24. Kaplan R.M. New health promotion Indicators: the general health policy model. Health Promotion. Vol. 3, No. 1. 1996. Pp. 35-49.
25. Kindig D., Stoddart G.L. What is population health? American Journal of Public Health. 2003. Vol. 93, No.3. Pp. 380-383.
26. McDowell I., Spasoff R.A., Kristjansson B. On the classification of population health measurements. American Journal of Public Health. 2004. Vol. 94, No. 3. Pp. 388-393.
27. Molla M.T., Madans J.H., Wagener D.K., Crimmins E.M. Summary measures of population health: Report of findings on methodologic and data issues. National Center for Health Statistics. Hyattsville, Maryland, 2003. 75 p.
28. Murray C.J.L., Salomon J.A., Mathers C.D. A critical examination of summary measures of population health. In: Murray C.J.L., Salomon J.A., Mathers C.D., Lopez AD, eds. Summary Measures of Population Health: Concepts, Ethics, Measurement and Applications. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2002. Pp. 13-40.
29. Reis S., Seto E., Northcross A., Quinn N.W.T., Convertino M., Jones R.L., Maier H.R., Schlink U., Steinle S., Vieno M., Wimberly M.C. Integrating modelling and smart sensors for environmental and human health. Environmental Modelling & Software. 2015. No. 74. Pp. 238-246.
30. Subramanian SV, Belli P, Kawachi I. The macroeconomic determinants of health. Annu Rev Public Health. 2002. No. 23. Pp. 287-302.
31. Torrance G.W. Health status index models: a unified mathematical view. Management Science. Vol. 22. No. 9. 1976. Pp. 990-1001.
32. Young T. K. Population Health: Concepts and Methods. New York, NY: Oxford University Press. 1998. 466 p.

N.A. Shchukina

**ECONOMIC-MATHEMATICAL MODELING OF THE HEALTH  
LEVEL OF POPULATION IN THE RUSSIAN REGIONS**

*Plekhanov Russian University of Economics, Russian Federation, Moscow  
Financial University under the Government of the Russian Federation, Russian  
Federation, Moscow*

*The article considers the economic and mathematical tools for solving the problem of integrated assessment and raising the level of public health in the region. The main health indicators serve as influencing factors. Linear models of integrated health indicators are constructed on available statistical data of the population of the Russian Federation and the*



*Volgograd region from 2000 to 2014. The dynamic task of increasing the values of the public health integral index in the Volgograd Region was formulated and solved. Basic health indicators are used as phase variables of the dynamic model, taken into account in constructing the integral index. Investments in the fixed capital of the region by main types of economic activity are control variables. The information basis is the data of the social and economic situation of the region for the last 15 years. The presented dynamic model allows to carry out a comprehensive assessment of the health of the population of the region in the current and forecast period. Some scenarios of increasing integral health level of the region under different investment capital restrictions were considered and results were analyzed. The proposed approach can be used to evaluate various options of the region development strategy. In the article, the presented model of the integral indicator of population health support a complex estimation of the level of regional development in the current period and can be considered as a tool of decision-making support at the multivariate scenario analysis of regional development strategies in health.*

**Keywords:** mathematical modeling, population health, integral indicator of health, dynamic programming, control problem, comprehensive health assessment

## REFERENCES

1. Amosov N.M. Razdum'ja o zdorov'e. M.: Molodaja gvardija, 1978. 192 p.
2. Gummel' V.K. Modelirovanie dinamiki urovnja zdorov'ja naselenija Kemerovskoj oblasti na osnove integral'nogo pokazatelja. Obrazovanie, nauka, innovacii: vklad molodyh issledovatelej: materialy XI (XLIII) Mezhd. nauchno-prakt. konf. Kemerovskij gos. un-t. Kemerovo. 2016. Pp. 763-765.
3. Zdorov'e naselenija Rossii: vlijanie okruzhajushhej sredy v uslovijah izmenjajushhegosja klimata: monografija. Pod obshh. red. A.I. Grigor'eva. M.: Nauka. 2014. 428 p.
4. Ignat'ev V.M. Statisticheskoe modelirovanie demograficheskikh pokazatelej zdorov'ja naselenija regiona. Aktual'nye voprosy jekonomicheskikh nauk. 2005. No.31. Pp. 106-110.
5. Ignat'ev V.M., Ignat'eva S.N. Zavisimosti pokazatelej zdravoohranenija ot social'no-jekonomicheskikh faktorov. Izvestija VUZov. Severo-Kavkazskij region. Serija: Estestvennye nauki. 2004. No.1. Pp. 72-76.
6. Kir'janov B.F. K probleme opredelenija vesovyh koeficientov parametrov linejnyh modelej integral'nyh pokazatelej kachestva sistem// Vestnik NovGU. 2007. No.44. Pp. 33-37.
7. Kir'janov B.F., Tokmachev M.S. Matematicheskie modeli v zdravoohranenii: monografija/ B.F. Kir'janov, M.S. Tokmachev; NovGU im. Jaroslava Mudrogo. Velikij Novgorod. 2009. 305 p.
8. Lisicyn Ju.P. Zdorov'e naselenija i sovremennye teorii mediciny. M.: Medicina. 1982. 287 p.
9. Loshakov A.A. Statisticheskij analiz pokazatelej zdorov'ja naselenija na regional'nom urovne. Transportnoe delo Rossii. 2010. No.8. Pp. 5-9.

10. Medik V.A., Tokmachev M.S. Modelirovanie integral'nyh pokazatelej ocenki zdorov'ja naselenija. Zdravoohranenie Rossijskoj Federacii. 2003. No.3. Pp.17-20.
11. Medik V.A., Tokmachev M.S., Fishman B.B. Statistika v medicine i biologii. Tom 2. Prikladnaja statistika zdorov'ja. M.: Medicina. 2001. 352 p.
12. Meshechkin V.V., Bogatyreva N.I. Matematicheskoe modelirovanie zadachi povyshenija urovnja zdorov'ja naselenija Kemerovskoj oblasti s primeneniem integral'nogo pokazatelja. Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. 2011. No.3 (47). Pp. 76-85.
13. Modelirovanie i prognozirovanie zdorov'ja naselenija i strategii upravlenija zdavoohraneniem/ A.I. Vjalkov, D.I. Kicha, V.O. Gurdus [i dr.]. Voronezh: Istoki. 2001. 200 p.
14. Moltchanov V.A. Principy dinamicheskogo modelirovanija zdorov'ja naselenija. – Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnyh sistem (MLSD'2016). Materialy IX Mezhdunarodnoj konferencii: v 2-h t. Pod obshh. red. S.N. Vasil'eva, A.D. Cvirikuna. 2016. Pp. 390-393.
15. Nekrasov P. V., Chichkin S. N. Vozmozhnost' primenenija komp'juternogo modelirovanija pri izuchenii i dal'nejshem prognozirovanii dinamiki zaboлеваemosti naselenija na territorii Penzenskoj oblasti [Text]. Medicina: vyzovy segodnjashnego dnja: materialy mezhdunar. nauch. konf. (g. Cheljabinsk, ijun' 2012 g.). Cheljabinsk: Dva komsomol'ca, 2012. Pp. 92-94.
16. Nizhegorodcev R.M., Piskun E.I., Kudrevich V.V. Prognozirovanie pokazatelej social'no-jekonomicheskogo razvitija regiona. Jekonomika regiona. 2017. Vol. 13, No.1. pp. 38–48.
17. Tikhomirova T.M. Metody analiza sostojanija i poter' zdorov'ja naselenija v regionah Rossii: Monografija. Moskva. 2012. 352 p.
18. Tokmachev M.S. Statisticheskij prognoz zdorov'ja naselenija regiona na osnove matematicheskogo i komp'juternogo modelirovanija. Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta im. Jaroslava Mudrogo. 2010. No.6. Pp. 56-61.
19. Tsinker M.Ju., Kir'janov D.A., Klejn S.V. Statisticheskoe modelirovanie dlja ocenki vlijanija faktorov sredy obitanija na indikatornye pokazateli zdorov'ja naselenija Rossijskoj Federacii. Zdorov'e naselenija i sreda obitanija. 2013. No.11. Pp. 10-13.
20. Regiony Rossii. Social'no-jekonomicheskie pokazateli. Statisticheskij sbornik. M. 2003 – 2015.
21. Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki. [Elektronnyj resurs]. [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/)
22. Chiang CL. An index of health: mathematical models. Vital Health Stat 2. 1965. No.5.

23. Friedman DJ, Starfield B. Models of population health: their value for US public health practice, policy, and research. *Am J Public Health*. 2003. No. 93. Pp. 366-369.
24. Kaplan R.M. New health promotion Indicators: the general health policy model. *Health Promotion*. Vol. 3, No. 1. 1996. Pp. 35-49.
25. Kindig D., Stoddart G.L. What is population health? *American Journal of Public Health*. 2003. Vol. 93, No.3. Pp. 380-383.
26. McDowell I., Spasoff R.A., Kristjansson B. On the classification of population health measurements. *American Journal of Public Health*. 2004. Vol.94, No.3. Pp. 388-393.
27. Molla M.T., Madans J.H., Wagener D.K., Crimmins E.M. Summary measures of population health: Report of findings on methodologic and data issues. National Center for Health Statistics. Hyattsville, Maryland, 2003. 75 p.
28. Murray C.J.L., Salomon J.A., Mathers C.D. A critical examination of summary measures of population health. In: Murray C.J.L., Salomon J.A., Mathers C.D., Lopez AD, eds. *Summary Measures of Population Health: Concepts, Ethics, Measurement and Applications*. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2002. Pp. 13-40.
29. Reis S., Seto E., Northcross A., Quinn N.W.T., Convertino M., Jones R.L., Maier H.R., Schlink U., Steinle S., Vieno M., Wimberly M.C. Integrating modelling and smart sensors for environmental and human health. *Environmental Modelling & Software*. 2015. No.74. Pp. 238-246.
30. Subramanian SV, Belli P, Kawachi I. The macroeconomic determinants of health. *Annu Rev Public Health*. 2002. No.23. Pp. 287-302.
31. Torrance G.W. Health status index models: a unified mathematical view. *Management Science*. Vol. 22. No. 9. 1976. Pp. 990-1001.
32. Young T. K. *Population Health: Concepts and Methods*. New York, NY: Oxford University Press. 1998. 466 p.