

ЭКОЛОГИЯ

УДК 519.22:314.135

Д. А. Кирьянов

ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Пермь, Россия
Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

ПРОГНОЗ РОЖДАЕМОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РОСТА ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

Приведен аналитический обзор математических моделей, применяемых для решения задач прогнозирования численности населения, которые отражают современные представления о демографических процессах, протекающих в глобальном (мировом) масштабе. Показано, что в условиях глобального демографического перехода при гиперболическом росте численности существует мировая тенденция к снижению рождаемости и стабилизации численности. На примере статистического анализа данных по структуре населения Пермского края (2010–2014 гг.) показано снижение влияния численности женщин фертильного возраста на рождаемость в сравнении с другими возрастными группами.

Ключевые слова: прогнозирование; рост численности; демографические процессы; математические модели, демографический переход.

D. A. Kiryanov

FSC of Medical-Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, Russian Federation
Perm State University, Perm, Russian Federation

BIRTH RATE FORECAST WHEN MODELING THE POPULATION GROWTH

The paper presents an analytical review of the mathematical models used for the population forecast considering the current understanding of demographic processes in the global world. It is shown that in the context of the global demographic transition and the population hyperbolic growth there is a trend towards lower birth rate and population stabilization. The case study in Perm region describes the population structure statistical data analysis for the period of 2010-2014 and demonstrates the decreasing interaction of fertile women population and the birth rate if to compare with other age groups.

Key words: forecasting; population growth; demographic processes; mathematical models, the demographic transition.

Введение

Проблема прогнозирования роста численности населения является одной из ключевых, решаемых в рамках анализа демографической ситуации. На уровне отдельных популяций (стран, регионов, муниципальных образований и т.п.) в основе прогнозирования лежат модели, описывающие динамику естественного прироста населения с учетом миграционных процессов. Для глобального прогнозирования роста народонаселения в масштабе Земли используются более сложные модели, основанные на теории гиперболического роста и демографического перехода.

Впервые проблему математического описания закономерностей роста населения и «возможного» перенаселения Земли поднял известный экономист

Томас Роберт Мальтус. Главным постулатом своей теории Мальтус считал следующую закономерность: «Население, если не мешать его свободному воспроизводству, удваивается каждые 25 лет, иначе говоря – в геометрической прогрессии. В то же время объемы ресурсов, необходимых для поддержания жизни, растут лишь в прогрессии арифметической» [Malthus, 1798]. Такое утверждение приводило к ограничению роста народонаселения и появлению эффекта перенаселения.

В середине XX в. теория Мальтуса была опровергнута серией исследований в области изучения глобальных демографических процессов, начало которым было положено Форстером [Foerster, Von, Mora, Amiot, 1960] и Хостером (1975). Полученные эмпирические модели переросли в теорию де-

мографического перехода, что повлияло как на теоретические представления о демографических процессах, так и на использование прикладных методов прогнозирования роста народонаселения.

Современные представления о глобальных демографических процессах с позиции формального описания феномена демографического взрыва и демографического перехода были сформулированы С.П. Капицей [1992–1999].

Следует отметить, что современные исследования в области моделирования демографических процессов вполне допускают использование «классических» подходов, основанных на экспоненциальных логистических функциях роста, для описания динамики численности на ограниченных временных отрезках для относительно небольших (в масштабе человечества) групп населения. В работах А.В. Коротаева, А.С. Малкова, Д.А. Халтуриной (2005–2012) представлен критический анализ методов математического моделирования роста народонаселения. В частности, в работе «Математическая модель роста населения Земли, экономики, технологии и образования» авторы выделяют границы применимости различных теорий для демографического прогнозирования [Коротаев, Малков, Халтурина, 2005].

Модели роста численности населения

Математические методы, основанные на классических теориях

Численность населения является универсальной мерой практически всех социально-экономических процессов, протекающих в обществе, доступной для непосредственного измерения, наблюдения и анализа. Поэтому именно этот показатель был и является объектом внимания исследований в области изучения социальных, экономических, исторических и прочих процессов.

В основе классического представления процесса роста численности населения лежит закон сохранения, который позволяет представить изменение численности населения в виде дифференциального уравнения

$$\frac{dN}{dt} = B - D, \quad (1)$$

где N – число людей; B – число рождений; D – число смертей в единицу времени.

Представленное уравнение описывает т.н. естественное движение населения, свойственное «закрытым системам». Учет миграционных перемещений позволяет переписать (1) в виде

$$\frac{dN}{dt} = B - D - \text{div}J, \quad (2)$$

где N – число людей; B – число рождений; D – число смертей в единицу времени; вектор J соот-

ветствует миграционному потоку.

Исследования в области демографии показывают, что все переменные правой части зависят от многих других социальных параметров, и в том числе от «человеческого фактора» – принятия решений отдельными людьми, слабо поддающегося формализации. Таким образом, единственным пока доступным подходом является макроописание, не вдающееся в мелкие детали демографического процесса и описывающее динамику больших людских масс, для которых влияние человеческого фактора заметно ниже.

В XIX в., при моделировании численности населения человек рассматривался как биологический вид, что являлось основанием для возможного использования моделей популяционной динамики [Ризниченко, 2002].

Базовой моделью, описывающей динамику популяции животных, является логистическая модель, предложенная Верхульстом [Verhulst, 1838]:

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right), \quad (3)$$

которую можно также представить в виде

$$\frac{dN}{dt} = (a_1 N) - (a_2 N + b N^2),$$

где $a_1 N$ соответствует числу рождений, а $a_2 N + b N^2$ – числу смертей, а r , K , a_1 , a_2 , b – положительные коэффициенты, связанные соотношениями $r = a_1 - a_2$ и

$$b = \frac{r}{K}.$$

Логика уравнения (3) такова: рождаемость a_1 является постоянной; таким образом, число рождений $B = a_1 N$ пропорционально численности популяции, естественная смертность a_2 также считается постоянной, а квадратичная добавка bN^2 в выражении для полной смертности $D = a_1 N + bN^2$ возникает из-за ограниченности ресурса, не позволяющей популяции бесконечно расти. Коэффициент b называют коэффициентом внутривидовой конкуренции.

Динамика популяции, описываемая логистическим уравнением, имеет следующий вид. Вначале, когда численность популяции мала, наблюдается экспоненциальный рост с показателем $r = a_1 - a_2$. Затем, по мере заполнения экологической ниши, рост замедляется и, в конечном счете, численность популяции выходит на постоянный уровень K , который определяет равновесное состояние численности при заданных ресурсных ограничениях и определяет пределы ее роста.

Другой известной популяционной моделью является модель Лотки-Вольтерра [Вольтерра, 1976], известная как «хищник-жертва». Она описывает динамику популяций двух взаимодействующих видов, один из которых является основной пищей

для другого, и состоит из двух уравнений вида (1)

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= Ax - Bxy \\ \frac{dy}{dt} &= Cxy - Dy, \end{aligned} \quad (4)$$

где x – численность жертв, y – численность хищников, A, B, C, D – коэффициенты.

Данная модель демонстрирует циклическую динамику. Рост численности жертв приводит к росту хищников, рост хищников вызывает сокращение жертв, сокращение жертв ведет к сокращению хищников, а при малом количестве хищников жертвы вновь начинают бурно размножаться.

Модели логистического роста и «хищник-жертва» для решения задач прогнозирования численности населения имеют очень ограниченное прикладное значение, так как человеческая популяция обладает способностью к преобразованию условий существования, а это приводит к снижению влияния внешних условий на динамику численности.

Тем не менее, в обзоре [Коротаев, Малков, Халтурина, 2005] выдвигается тезис, что модель (4) находит новое, нетрадиционное применение в демографических моделях. В частности, она может быть применена для описания колебаний численности населения, обнаруженных практически у всех аграрных обществ [Капица, 1992]. В роли жертвы выступает население, а в роли хищника – социальная нестабильность, войны, голод, эпидемии, вероятность возникновения которых увеличивается по мере того, как растущее население приближается к потолку несущей способности.

Модели гиперболического роста

В основе теории гиперболического роста народонаселения лежит эмпирическая закономерность, обнаруженная Форрестером, Мора и Эмиотом в 1965 году [Foerster, Von, Mora, Amiot, 1960]. Они провели статистическую оценку демографических данных и обнаружили, что кривая роста населения Земли лучше всего аппроксимируется кривой

$$N = \frac{C}{t_0 - t}, \quad (5)$$

где C и t_0 – константы, причем t_0 – соответствует 13 ноября 2026 г. Согласно этой формуле в этот день численность человечества должна уйти в бесконечность.

Обнаруженная Форрестером закономерность была опубликована в 1960 г., в то время, когда гиперболическая зависимость выражалась наиболее явно. Начиная с 60-х гг. XX в., реальная динамика народонаселения Земли стала все больше отходить от гиперболической кривой, и к настоящему времени темпы роста населения резко понизились (рис. 1).

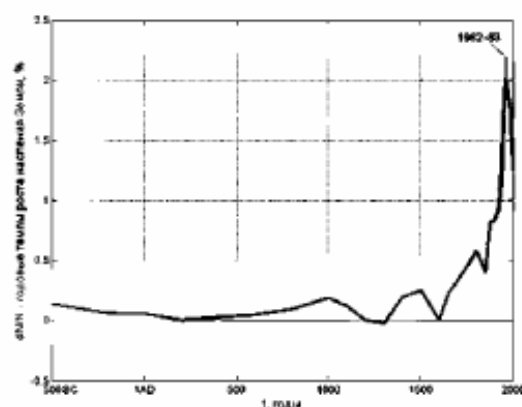


Рис. 1. Темпы роста населения Земли

Наблюдаемое снижение темпов роста численности населения получило название глобального демографического перехода. Описание этого явления является предметом многих современных исследований в области демографического анализа и прогнозирования. При этом исследователями решается двойственная проблема: описание явления гиперболического роста, который наблюдался в течение многих тысячелетий и демографического перехода с временным масштабом десятки лет.

Наиболее фундаментальными работами в области глобальной демографии, описывающими демографические процессы и дающими ответы на оба поставленных вопроса, по праву считаются работы С.П. Капицы [1992, 1999].

В отличие от демографических моделей, строящихся на биологических предположениях типа (1)–(4), что рост населения пропорционален самому населению, то есть, по сути, в предположении, что рождаемость и смертность мало меняются, со временем Капица предлагает использовать квадратичную зависимость для скорости роста

$$\frac{dN}{dt} = \frac{N^2}{C}. \quad (6)$$

Уравнения вида (6) хорошо изучены и их решения известны как режимы с обострением. Характерная черта таких уравнений состоит в том, что в некоторый конечный момент времени t_0 решение уходит в бесконечность.

Что же касается самого уравнения (6), то его решением как раз и будет полученная эмпирически формула (5), где t_0 зависит от начальных условий. Таким образом, уравнение (6) удовлетворительно описывает эмпирическую зависимость (5) и может выступать в роли модели демографического процесса.

Причиной явления гиперболического роста, по мнению С.П. Капицы, является социальная сущность самого человека, которая обеспечивает информационный обмен между отдельными индивидами.

Поскольку рост человечества, согласно уравнению (6), зависит исключительно от размера популяции и не зависит ни от каких внешних условий и ресурсных ограничений, то логика диктует искать причину демографического перехода также внутри человека, поскольку никакие ресурсные ограничения не могли на протяжении тысячелетий остановить процесс роста, да и в нынешнее время переход происходит не из-за ресурсного кризиса, так как душевой доход постоянно растет. Для Капицы особо важным параметром видится характерное время жизни человека $\tau = 42$ года, определяемое «внутренней предельной способностью системы человечества и человека к развитию» [Капица, 1992].

Для того чтобы описать демографический переход, Капица предложил уравнение, полученное на основе (5) и (6):

$$\frac{dN}{dt} = \frac{C}{(t_0 - t)^2 + \tau^2}, \quad (7)$$

где τ – характерное время жизни человека.

Полученное уравнение уже не дает обострения – ухода решения в бесконечность. Напротив, при такой модификации численность населения стабилизируется на уровне 10-12 млрд чел., что согласуется с прогнозами демографов.

Тем не менее, ни основное уравнение (6), ни его модификация (7), описывающая эффект демографического перехода, не раскрывают сути действующих законов, оставаясь на феноменологическом уровне констатацией обнаруженной эмпирической закономерности. С математической точки зрения, имеющиеся демографические данные – это реализация некоторого процесса, интегральная кривая, а уравнения (6) и (5) эквивалентны, поскольку одно является дифференциальной формой записи другого.

Обоснование причин возникновения явлений гиперболического роста и демографического перехода является предметом критики феноменологической модели С.П. Капицы и, вместе с тем, мотивацией ученых для проведения исследований в этой области.

Интересен подход к моделированию численности народонаселения, основанный на предположении о возможности перехода сознания человека между двумя мирами – тонким и плотным, в результате процессов рождения и смерти. В религии это явление принято называть реинкарнацией. Модель, предложенная Л.М. Гиндилисом [2001] объясняет феномен гиперболического роста и демографического перехода циркуляцией населения между мирами.

Материалистические объяснения указанных феноменов возникают при рассмотрении взаимного влияния численности населения и создаваемых им технологий. Наиболее математизированной и

разработанной работой в этой области представляется исследование Майкла Кремера [Kremer, 1993]. В нем представлены сразу несколько моделей, с разных сторон описывающих процесс взаимного роста численности населения и уровня технологий. Представленные Кремером модели указывают на существенную роль экономических факторов при объяснении изменений рождаемости и смертности. В итоге работа М. Кремера дала очень серьезное и правдоподобное описание гиперболического роста населения Земли, опираясь, прежде всего, на экономические механизмы и давая при этом не худшие результаты, чем теория С.П. Капицы. Однако в той части, где она касалась демографического перехода, ее объяснение все еще нельзя считать достаточным, даже несмотря на сильное усложнение модели и введение нескольких дополнительных параметров.

Попытка объяснить явление демографического перехода, найти объективные причины пределов роста была предпринята в работах А.В. Подлазова [2001]. Он, с одной стороны, видит причины гиперболического роста в совместном процессе роста человечества и технологии, а с другой – причину демографического перехода он ищет в самом естестве человека, его биологических параметрах и продолжительности жизни. Модель гиперболического роста А.В. Подлазов записывает в виде

$$\begin{aligned} \frac{dN}{dt} &= NP \\ \frac{dP}{dt} &= NP, \end{aligned} \quad (8)$$

где N – численность населения, а P – уровень технологии.

В отличие от М. Кремера, для которого технологии – это средство производства продукта, А.В. Подлазов видит роль технологий иначе. Он вводит понятие жизнеспасающих технологий. Роль технологий он видит в предотвращении смерти и продлении жизни безотносительно того, каким образом это достигается – за счет производства пищи или за счет религиозных норм морали.

Развитие жизнеспасающих технологий приводит к сохранению здоровья, следствием чего является снижение смертности и увеличение продолжительности жизни. Особенно этот факт проявляется при рассмотрении динамики младенческой смертности. Вместе с тем, развитие технологий приводит к изменению демографических установок, следствием чего является снижение рождаемости.

Анализ большой статистической выборки убедительно показывает, что рост уровня образования населения в ходе модернизации, наряду с развитием медицинских технологий и системы социального обеспечения, является ведущим фактором сни-

жения по сравнению с обществами, уже завершившими демографический переход, к которым относится и Россия, влияние образования и здравоохранения на рождаемость особо велико для стран третьего мира. При этом появление и распространение новых медицинских технологий возможно только в результате развития сферы образования. Образование, с одной стороны, позволяет населению ознакомиться со средствами регуляции рождаемости, а с другой – меняет ценностные ориентации людей, что отражается и на репродуктивных установках [Коротаев, Малков, Халтурина, 2005].

Таким образом, современное представление о динамике населения в условиях демографического перехода при гиперболическом росте основано на взаимодействии трех важных показателей – численность населения, уровень технологии и уровень грамотности. При ее простоте и малом количестве параметров модель с высокой точностью описывает совместную динамику всех трех показателей в рассматриваемом интервале с начала нашей эры по нынешнее время. При этом показано, что определяющим признаком, характеризующим демографический переход, является снижение рождаемости.

Прогнозирование рождаемости

Выполнение практических расчетов по прогнозированию численности населения для небольших, в сравнении со всей человеческой популяцией, территориях (страны, регионы) связано с построением системы балансовых уравнений притока и оттока населения для отдельных возрастных групп. В демографии такой подход принято называть методом передвижки возрастов.

Одной из задач, связанных с применением метода передвижки возрастов, является оценка числа родившихся за каждый временной период прогнозирования (обычно год). Для решения этой задачи стандартным является метод, основанный на коэффициентах рождаемости по возрасту матери. При этом население других возрастных групп в расчетах не участвует. В свете представленного обзора по теории гиперболического роста и демографического перехода прирост населения определяется всей половой и возрастной структурой, определяющей демографические установки.

Для исследования этого утверждения была выполнена статистическая обработка данных о половой и возрастной структуре населения Пермского края за период 2010–2014 гг. в разрезе муниципальных образований.

Дизайн исследования заключался в выявлении влияния структуры населения на рождаемость с использованием регрессионного анализа. В качестве обучающей выборки использовались данные

за 2010 г., а проверка построенных моделей выполнялась по данным за последующие годы. На основании полученных моделей проводится оценка качества предсказания и устойчивости полученных зависимостей.

Обучающая выборка представляет собой данные о структуре населения муниципальных образований Пермского края в 2010 г. На рис. 2 приведено распределение данных в разрезе однолетних возрастных групп для мужчин и женщин.

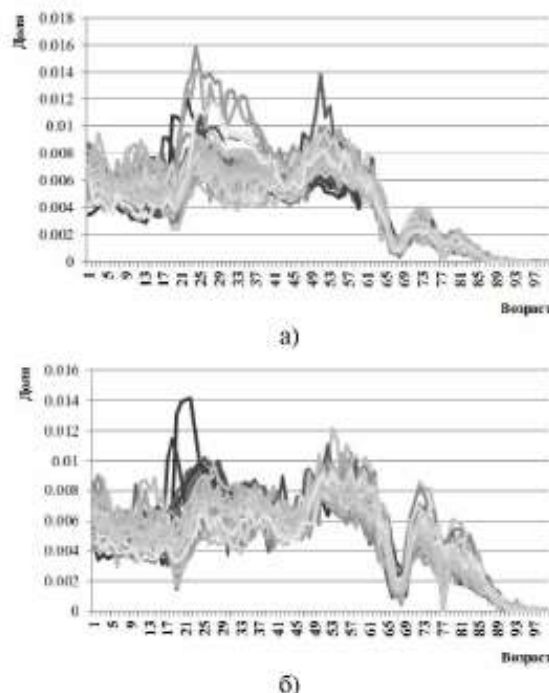


Рис. 2. Распределение структуры населения в разрезе однолетних возрастных групп:

а – мужчины, б – женщины

Из рис. 2 видно, что структура населения распределена существенно неравномерно, как по возрастным группам, так и по территориям. Для выявления структурных закономерностей было выполнено преобразование данных методом главных компонент. В табл. 1 приведены величины собственных значений, превышающих 1.

Большое количество записей в табл. 1 свидетельствует о наличии большого количества переменных в исходных данных, слабо коррелирующих между собой. Такое обстоятельство затрудняет выбор структур связанных переменных в исходных данных. Для сокращения числа использованных главных компонент, описывающих вариации данных, воспользуемся методом «каменная ось»». На рис. 3 приведен график «каменной оси»».

Из графика, представленного на рис. 3, следует, что для описания структурных связей между переменными в исходной матрице данных достаточно

использовать 5 главных компонент.

Из матрицы исходных данных можно выделить ряд структурных закономерностей по связям с главными компонентами:

- первая ГК M1-M4, M6-M15, M42-M55, M57-58, M65-M69, M72, M84-M85, F1-F15, F18-F22, F24, F44, F46, F47, F49, F50, F60, F62-F69;
- вторая ГК M19-M22, M24-M25, M27, M29-M33, M35-M38, M40, M56, M60, M63, M70-M71,

M73-M83, F23, F25-F32, F36, F52, F53, F70-F84;

- третья ГК M5, M23, M26, M28, M34, M39, M41, F33-F35, F39, F40, F42, F45;

- четвертая ГК M18, M59, M61, F37, F55-F59, F61;

пятая ГК M16-M17, F16-F17, F41-F43.

Таблица 1

Значение собственных значений, превышающих 1

Фактор	Собственное значение	% общей дисперсии	Накопленное собственное значение	Накопленный % дисперсии
1	43.30946	25.47615	43.3095	25.47615
2	35.35243	20.79555	78.6619	46.27170
3	16.84322	9.90778	95.5051	56.17948
4	10.89335	6.40785	106.3985	62.58733
5	5.65951	3.32912	112.0580	65.91645
6	5.06011	2.97654	117.1181	68.89299
7	4.29375	2.52574	121.4118	71.41872
8	3.74957	2.20563	125.1614	73.62435
9	3.15774	1.85749	128.3191	75.48185
10	2.95707	1.73945	131.2762	77.22130
11	2.81128	1.65370	134.0875	78.87500
12	2.50926	1.47604	136.5968	80.35103
13	2.47746	1.45733	139.0742	81.80836
14	2.22304	1.30767	141.2973	83.11603
15	2.04168	1.20099	143.3389	84.31702
16	1.89586	1.11521	145.2348	85.43223
17	1.83186	1.07757	147.0667	86.50980
18	1.70568	1.00334	148.7723	87.51314
19	1.55018	0.91187	150.3225	88.42501
20	1.48753	0.87502	151.8100	89.30003
21	1.37761	0.81036	153.1877	90.11038
22	1.28131	0.75371	154.4690	90.86409
23	1.23813	0.72831	155.7071	91.59240
24	1.16820	0.68717	156.8753	92.27958
25	1.09664	0.64508	157.9719	92.92466
26	1.05847	0.62263	159.0304	93.54729



Рис. 3. График «каменистая ось»

Анализ связей исходных переменных с после-

дующими главными компонентами не позволяет выявить значимых структурных закономерностей. Для получения моделей зависимостей влияния структуры населения на рождаемость был выполнен линейный множественный регрессионный анализ на главные компоненты. При этом в качестве зависимых переменных использовалась рождаемость, дифференцированная по полу, а в качестве независимых – значение главных компонент для каждого муниципального образования Пермского края. Параметры полученных моделей приведены в табл. 2–3.

Из табл. 2–3 видно, что влияние населения, находящегося в фертильном возрасте, на рождаемость наблюдается только для рождения мальчи-

ков, причем это влияние не является определяющим. Большую часть дисперсии рождаемости описывается главными компонентами 1, 3, 5, которые в основном характеризуют либо детское население, либо население старших возрастов. Из этого следует, что рождаемость определяется не только и не столько наличием женщин и мужчин фертильного возраста, а демографическими установками, кото-

рые формируются за счет преобладания в структуре населения детей и взрослых старших возрастов. Такое утверждение является спорным с точки зрения классической демографии, но в рамках проведенного анализа может быть использовано в качестве аргумента, подтверждающего высокий вклад демографических установок и мотиваций в увеличение рождаемости.

Таблица 2

Параметры регрессии для рождаемости мальчиков $M0$ ($R^2=0.41$)

	БЕТА	Стандартная ошибка БЕТА	В	Стандартная ошибка В	t(49)	Уровень значимости
Свободный член	-	-	0.006316	0.000124	51.119528	0.000000
Фактор 1	0.418702	0.109417	0.000477	0.000125	3.826647	0.000369
Фактор 3	0.336600	0.109417	0.000384	0.000125	3.076292	0.003425
Фактор 5	0.273345	0.109417	0.000312	0.000125	2.498187	0.015888
Фактор 2	0.223686	0.109417	0.000255	0.000125	2.044337	0.046313

Таблица 3

Параметры регрессии для рождаемости девочек $F0$ ($R^2=0.47$)

	БЕТА	Стандартная ошибка БЕТА	В	Стандартная ошибка В	t(50)	Уровень значимости
Свободный член	-	-	0.006101	0.000111	55.018828	0.000000
Фактор 3	0.456760	0.103129	0.000496	0.000112	4.429010	0.000052
Фактор 1	0.403099	0.103129	0.000438	0.000112	3.908680	0.000280
Фактор 5	0.311611	0.103129	0.000338	0.000112	3.021564	0.003957

На рис. 4 представлена диаграмма рассеивания прогнозных значений рождаемости мальчиков и

девочек по обучающей выборке.

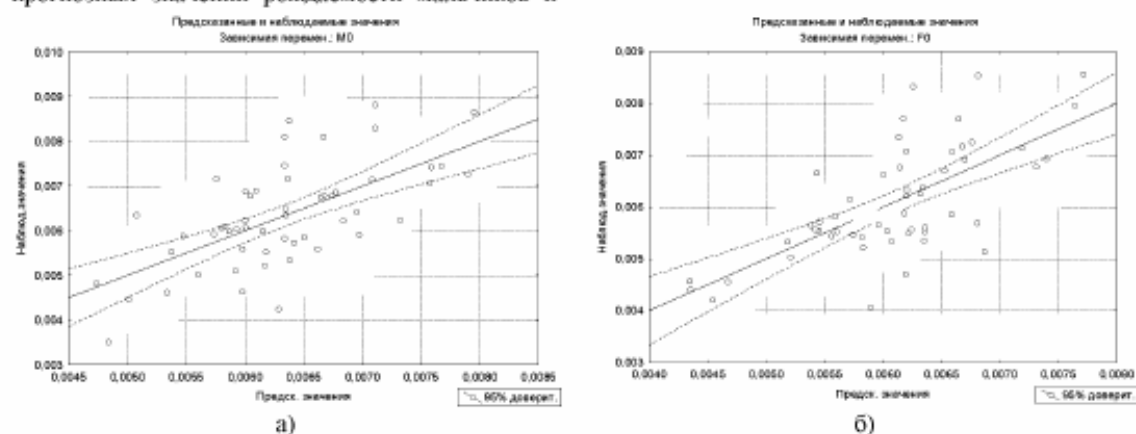


Рис. 4. Диаграмма рассеивания прогнозных значений рождаемости по обучающей выборке:

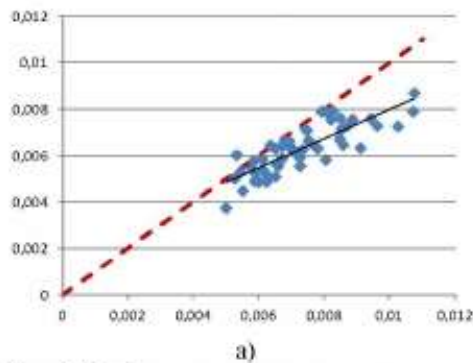
а – мальчики, б – девочки

Результаты прогнозирования не дают основание утверждать о высоком качестве модели ($R^2=0.41$ для мальчиков, $R^2=0.47$ для девочек). Следовательно, за счет структуры населения мы

можем объяснить меньше половины дисперсии рождаемости.

Проверка устойчивости полученных зависимостей выполнялась на данных за 2011–2014 гг. На

рис. 5 приведены диаграммы рассеивания для предсказания рождаемости мальчиков и девочек за 2011 г.



На рис. 6 приведены диаграммы рассеивания прогнозных значений рождаемости мальчиков и девочек за 2014 г.

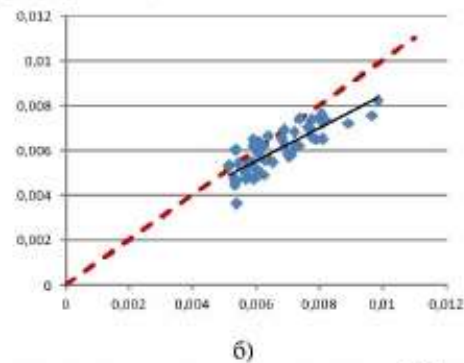


Рис. 5. Графики предсказанных и реальных значений рождаемости мальчиков и девочек за 2011 г.:
а – мальчики ($R^2=0.154$), б – девочки ($R^2=0.391$)

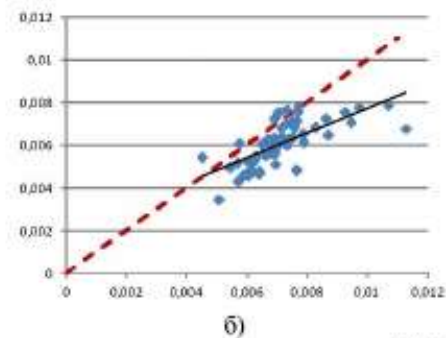
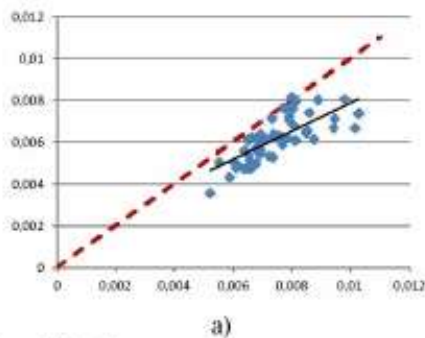


Рис. 6. Графики предсказанных и реальных значений рождаемости мальчиков и девочек за 2014 г.:
а – мальчики ($R^2=0.128$), б – девочки ($R^2=0.046$)

Сопоставление рис. 4–6 показывает, что в целом полученная зависимость обладает устойчивостью во времени, по крайней мере, за пятилетний период, в рамках которого проводилось настоящее исследование. Вместе с тем, следует отметить, что качество предсказаний падает по мере удаления от временного периода, соответствующего обучающей выборке, причем модель дает заниженные оценки. Это говорит о том, что использование получаемых моделей в результате регрессионного анализа имеет ограниченный диапазон использования и может быть применим для прогнозирования не более чем на десять лет.

В демографии такого рода прогнозные оценки широко распространены при выполнении прогнозов в промежутках времени между переписями населения, которые проводятся примерно один раз в десять лет. При этом каждая перепись населения позволяет верифицировать полученные модели и обеспечить их корректное применение на следующее десятилетие.

Заключение

В ходе выполнения работы был изучен ряд публикаций ученых по теме «моделирование наро-

донаселения», которые отражают современные представления о демографических процессах, протекающих в глобальном (мировом) масштабе. В исследованиях конца XX – начала XXI в. делается вывод о независимости роста численности населения от ресурсного обеспечения, при этом рост численности населения определяется уровнем жизнеобеспечивающих технологий и грамотности. В условиях глобального демографического перехода существует мировая тенденция к снижению рождаемости и стабилизации численности.

На более мелких масштабах на рассмотрение процесса роста численности населения, существенную роль играет рождаемость, которая определяет способность населения к самовоспроизводству. Стандартный метод расчета числа рождений определяется долей женщин фертильного возраста в структуре населения и является основой для выполнения большинства демографических прогнозов. Моделирование зависимостей рождаемости от половозрастной структуры населения на примере Пермского края не подтверждает данного утверждения. Более того, роль женщин фертильного возраста по влиянию на рождаемость значительно ниже, чем влияние других возрастных групп.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют в целом о влиянии структуры населения на коэффициенты рождаемости, но при этом не полностью объясняют все вариации. Поиск факторов, которые могли бы улучшить саму модель и качество предсказаний является предметом дополнительных углубленных исследований.

Библиографический список

- Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование / под ред. Ю. М. Свирижева. М.: Наука, 1976. 287 с.
- Гиндилис Л.М. Рост народонаселения в модели с реинкарнацией // Дельфис. 2001. № 26. С. 55–61.
- Катица С.П. Математическая модель роста населения мира // Математическое моделирование. 1992. Т. 4, № 6. С. 65–79.
- Катица С.П. Сколько людей жило, живет и будет жить на земле. М.: Наука, 1999. 117 с.
- Коротаев А.В., Малков А.С., Халтурина Д.А. Математическая модель роста населения Земли, экономики, технологии и образования. М., 2005. 41 с.
- Подлазов А.В. Основные уравнения теоретической демографии и модель глобального демографического перехода: препринт / Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН. М., 2001. № 88. 16 с.
- Ризниченко Г.Ю. Лекции по математическим моделям в биологии. Ижевск, 2002. Ч. 1. 232 с.
- Foerster, H. Von, Mora P., and Amiot L. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026 // *Science*. 1960. Vol. 132. P. 1291–1295.
- Kremer, M. Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990 // *The Quarterly Journal of Economics*. 1993. Vol. 108. P. 681–716.
- Malthus, T. Population: The First Essay. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press, 1798.
- Verhulst P.F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement // *Corr. Math. Et Phys*. 1838. Vol. 10. P. 113–121.
- Volterra V. *Matematičeskaja teorija bor'by za suščestvovanie* [The mathematical theory of the struggle for existence]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 287 p. (In Russ.)
- Gindilis L.M. [Population growth in the model with the reincarnation]. *Delphis*. 2001. N 26, pp. 55–61. (In Russ.)
- Kapitsa S.P. [A mathematical model of the world's population growth]. *Matematičeskoe modelirovanie*, 1992, V. 4, N 6, pp. 65–79. (In Russ.)
- Kapitsa S.P. *Skol'ko ljudej žilo, živet i budet žit' na zemle* [How many people lived, live and will live on Earth]. Moscow, Nauka Publ., 1999. 117 p. (In Russ.)
- Korotaev A.V., Malkov A.S., Haturina D.A. *Matematičeskaja model' rosta naselenija Zemli, ekonomiki, tehnologii i obrazovanija* [A mathematical model of the Earth's population growth, the economy, technology and education]. Moscow, 2005. 41 p. (In Russ.)
- Podlazov A.V. *Osnovnye uravnenija teoretičeskoj demografii i model' global'nogo demografičeskogo perechoda* [The basic equations of the theoretical model of global demographics and the demographic transition]. Moscow, 2001. 16 p. (Preprint / Keldysh Institute of Applied Mathematics; № 88.). 16 p. (In Russ.)
- Riznichenko G.Y. *Lekcii po matematičeskim modeljam v biologii* [Lectures on mathematical models in biology]. Izhevsk, 2002. Part 1. 232 p. (In Russ.)
- Foerster, H. Von, Mora P., and Amiot L. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. *Science*. 1960. V. 132, pp. 1291–1295.
- Kremer, M. Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990. *The Quarterly Journal of Economics*. 1993, V. 108, pp. 681–716.
- Malthus, T. Population: The First Essay. Ann Arbor, MI, University of Michigan Press, 1798.
- Verhulst, P.F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. *Corr. Math. Et Phys*. 1838, V. 10, pp. 113–121.

Поступила в редакцию 29.08.2016

Об авторе

Кирьянов Дмитрий Александрович, к.т.н., заведующий отделом математического моделирования систем и процессов ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 614045, Пермь, Монастырская, 82; kda@fcrisk.ru; (342)2371804
доцент кафедры экологии человека и безопасности жизнедеятельности ФГБОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» 614990, Пермь, ул. Букирева, 15

About the author

Kiryanov Dmitry Aleksandrovich, PhD in Technical Sciences, head of the department of mathematical modeling of systems and processes FBSI "Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies" 82, Monastyrskaya Str., Perm, 614045, Russia; kda@fcrisk.ru; (342)2371804
associate professor of the Department of human ecology and life safety Perm State University, 15, Bukirev str., Perm, Russia, 614990