

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С УЧЕТОМ СОЦИОКУЛЬТУРНЫХ ДЕТЕРМИНАНТ<sup>1</sup>

*Исследование включает в себя краткий обзор эволюции методов математического моделирования демографических процессов. На основе выявленных тенденций внесены предложения по учету социокультурных детерминант в формировании репродуктивных стратегий.*

**Ключевые слова:** демографические модели, социология культуры, информатизация, цифровое общество, математическое моделирование, теория динамических систем, статистический анализ.

Современное моделирование каких-либо общественных процессов невозможно представить без учета экспоненциально возрастающей информационной связности на всех уровнях и быстрой технологизации общества. В связи с этим существует необходимость переосмысления и совершенствования существующих методов и инструментов математического моделирования демографических процессов с учетом социокультурных детерминант.

Сегодня исследователи не имеют единого мнения по поводу степени влияния различных детерминант на демографические процессы и, в частности, на репродуктивное поведение. Очевидно, что процессы популяционной динамики не могут быть объяснены простыми линейными зависимостями, отражающими влияние ряда социоэкономических, географических, политических и культурных факторов. Отметим, что последние в современном мире начинают приобретать все большую роль за счет массового распространения «нетрадиционных» форм СМИ — социальных сетей, лидеров мнений, блогеров, стримеров и т. д. Примером влияния нетрадиционных СМИ на репродуктивное поведение может служить распространение идеологии чайлдфри (в переводе с английского «свободный от детей»). В 2005 году, по данным ВЦИОМ, в России это движение не было распространено вообще. Сегодня доля «добровольно бездетных» составляет 6-8 % населения. По прогнозам социологов и экономистов (2014 г.), доля бездетных женщин в России с нынешних 8 % может приблизиться к средневропейскому уровню в 15 % в ближайшие годы [8]. Анализ контента наиболее популярной в России и СНГ социальной сети «ВКонтакте» показал, что интерес к контркультуре чайлдфри достаточно высок и продолжает расти. Так, сегодня в социальной сети

---

<sup>1</sup> © Ворошилова А.И. Текст. 2019

Исследование проведено в рамках проекта «Рождаемость и родительство в российских регионах: модели, стратегии активизации, прогнозы», поддержанного Советом по грантам Президента РФ на государственную поддержку ведущих научных школ Российской Федерации (НШ-3429.2018.6).

существует порядка 600 сообществ в русле идеологии чайлдфри (включая сообщества «Яжемать», «Подслушано Чайлдфри», «Чайлдфри по-русски»), крупнейшие из которых имеют около 1,5 млн подписчиков. Это указывает на то, что культурно-информационные и демографические процессы имеют определенную степень взаимосвязи и синхронизации.

В то же время известные модели демографических процессов основаны на переносе популяционной динамики живых организмов на человеческое общество и, в основном, были созданы в прошлом веке, в постиндустриальном обществе, отличавшемся высокой степенью централизации при относительно малой горизонтальной связности. Сегодня невозможно представить моделирование каких-либо общественных процессов без учета экспоненциально возрастающей информационной связности на всех уровнях и быстрой технологизации общества. Перспективы развития данной отрасли заключаются в новых способах уточнения и реидентификации мотивационных и популяционных моделей демографических процессов, методов их адаптации к моделированию процессов, протекающих в регионах РФ в существующих социокультурных реалиях.

Важным аспектом предлагаемого развития является конвергенция подходов социологического анализа с современными методами нелинейной динамики. Реидентификация моделей на основе анализа влияния социокультурных факторов (социальных сетей, трендов, мемов и др.) может осуществляться за счет введения дополнительных нелинейных и/или нестационарных параметров в математическое описание модели.

Идея математического моделирования демографических процессов возникла в прошлом столетии и благодаря развитию математического аппарата и технических средств моделирования сегодня является перспективным направлением исследований. Высокая значимость исследований в этой сфере подтверждается тем, что в разные годы ряд работ по моделированию процессов в социально-экономических системах был удостоен Нобелевской премии [4].

Изначально идеи прогнозирования численности популяций методами математического моделирования получили широкое применение в биологии и экологии. Для лучшего понимания динамики биологических популяций биологи-теоретики и прикладные математики на протяжении последнего века улучшали классические модели и разрабатывали новые. Во второй половине двадцатого века были введены возрастные матрицы популяций и рассмотрена модель взросления на их основе. Впоследствии Л. Р. Lefkovich обобщил эту идею, рассмотрев матрицы состояния популяций посредством классификации по другим популяционным признакам. В это время появились такие «классические» модели, как логистическое уравнение, уравнения Вольтерра «хищник — жертва» и уравнения Лотки-Вольтерра, которые оказали серьезное влияние на теоретическую и прикладную популяционную динамику. В 1954 В. Ricker описал модель плотности популяции в сезон размножения, которая стала одной из самых известных

дискретно-временных популяционных моделей, широко используемых в теоретическом и прикладном экологическом моделировании. Кроме того, данная модель является классическим примером простой нелинейной модели, демонстрирующей сложную динамику [2].

Новой методологией для получения механистического описания популяционных моделей является «участко-основанный» (site-based) подход, описанный в ряде работ (A. Brannstrom, D. Sumpter, 2005, 2006; A. Johansson, Sumpter, 2003; D. Sumpter, D. Broomhead, 2001) и являющийся развитием идей Т. Royama (1992). Делая различные предположения относительно природы и эффектов соперничества в отдельных участках, исследователи разработали широкий класс популяционных моделей.

Активное развитие получило направление, посвященное детерминированным или стохастическим флуктуациям окружающей среды (S. Engen, Ø. Bakke, A. Islam, 1998), а также разработка моделей пространственной диффузии биологических популяций (M. E. Gurtin, R. C. MacCamy, 1977; R. S. Cantrell, C. Cosner 1999; Eduardo H. Colombo, Celia Anteneodo, 2012). В 1874 году F. Galton и W. Watson разработали модель разветвляющихся процессов для анализа вымирания английских фамилий [12]. Современный американский исследователь Н. Caswell установил связь между моделью разветвляющихся процессов и диффузионной моделью на основе анализа чувствительности демографической дисперсии. Сегодня именно эти две модели широко используются при изучении эффектов демографической стохастичности.

Структурированные популяции, в которых индивидуумы различаются по возрасту или страте, анализируются при помощи комбинированных разветвляющихся процессов. Применение таких моделей было использовано в демографии для возрастных моделей (J. H. Pollard, 1966) и расширено для стратификационных моделей (H. Caswell, 2001). В таких моделях индивидуум заданного типа характеризуется многомерной функцией распределения числа «потомков» всех типов, производимых за некоторый интервал времени [10].

Однако экстраполяция методов прогнозирования популяций на человека как биологический вид имеет свои ограничения, связанные с социально-культурными особенностями. Поэтому математическое моделирование демографических процессов человеческого общества является одной из наиболее сложных междисциплинарных сфер науки. Так, отечественному физику С. П. Капице принадлежит идея феноменологической теории роста населения Земли и разработка соответствующей ей математической модели [6]. С задачами популяционного роста связано множество известных в естественных науках имен, таких как Фибоначчи, Л. Эйлер, г. Галлей, Т. Мальтус и другие. Модели глобального развития были предложены Дж. Форрестером, Д. Медоузом и др., М. Месаровичем, Э. Пестелем, А. О. Эррерой, Я. Кайя, Я. Судзуки, Х. Линнеманом, У. Робертсом, В. Леонтьевым, и в дальнейшем развиты в работах В. А. Геловани, В. А. Егорова, Ю. Н. Каллистова, В. М. Матросова, С. А. Махова, В. Б. Митрофанова, Н. Н. Моисеева, А. А. Пионтковского.

Следует особо отметить работы основоположников клиометрии и клиодинамики А. А. Акаева, Л. Е. Гринина, С. П. Курдюмова г. г. Малинецкого, С. Ю. Малкова, П. В. Турчина, в работах которых изучены принципы популяционной динамики и математического моделирования исторической динамики, изложен опыт моделирования демографически-структурных циклов, принципиальные результаты в области прогноза поведения сложных систем.

Теоретико-методологические основы построения математических моделей социальных процессов были разработаны в трудах отечественных ученых Е. М. Андреева, В. М. Алексеева, г. Ш. Бахметовой, А. Я. Боярского, А.Г. Волкова, А. г. Вишневого, г. М. Зуева, А. В. Коротаева, А.С. Малкова, Д.А. Халтуриной, Ю. А. Левады, А. В. Подлазова, А. А. Самарского, О. В. Староверова, В. В. Федосеева, В. Ф. Шукаило и других. Имитация особенностей репродуктивного поведения населения с учетом особенностей региона была предложена в работах математиков и экономистов В. Л. Макарова, А. Р. Бахтизина, Е. Д. Сушко. Среди западных ученых-методологов в этой области стоит отметить работы J. M. Alho, L. W. Amiot, H. Foerster, M. Greenberger, P. Heuveline, N. Keyfitz, J. Korb, M. Kremer, W. Lutz, M. Michael, P. M. Mora, G. H. Orcutt, J. Pollard, S. H. Preston, A. M. Rivlin, A. Rogers, A. Schoen, D. Smith, B. D. Spencer.

Традиционно применение методов моделирования в сфере воспроизводства человеческого капитала сводится к построению демографических прогнозов (Л. П. Шахотько, С. М. Терещенко 1999, М. Bergaglio, 2017; С. Coste, F. Austerlitz, S. Pavard, 2017). В то же время большее развитие получают имитационные модели — стохастические дискретные микромодели, моделирование в которых происходит на основе метода Монте-Карло, применяемого на микроуровне. Сегодня также существует значительное количество работ, анализирующих факторы и детерминанты репродуктивного поведения. В частности, обосновано, что факторами репродуктивного поведения являются социально-демографические характеристики субъектов родительства (G. S. Hubel, W. L. Rostad, S. Self-Brown, A. D. Moreland, 2018), психологический климат в социальной группе и поддержка окружения (Seo et. al. 2018), социально-культурная среда (N. Gonzalez, J. Méndez-Pounds 2018), материально-бытовые условия (A. Sim, M. Fazel, L. Bowes, F. Gardner, 2018) и др. К. С. Samir и W. Lutz в известной работе «The human core of the shared socioeconomic pathways: Population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100» разработали траектории развития современного мира и доказали значение социальных факторов в развитии демографического сценария [14].

Однако возможности прогнозирования динамики социодемографических процессов с помощью математического моделирования сегодня далеко не исчерпаны. В частности, сложным и малоизученным направлением исследований остаются измерение и учет стремительно меняющихся социокультурных условий, процессов информатизации и новых форм коммуникации в формировании репродуктивных стратегий поведения. На наш взгляд, наиболее адекватным инструментом учета этих детерминант явля-

ется применение нелинейных моделей. Частично такие модели уже применяются для моделирования демографических процессов. Так, европейские исследователи N. Brouhns, M. Denuit и J. Vermunt предлагают использовать улучшенную модель Ли-Картера для предсказания демографических компонент, на основе которых осуществляется прогноз уровня смертности и продолжительности жизни. В 2006 г. Н. Caswell в работе «Matrix population models» [10] доказал, что при зависящих от времени коэффициентах или нелинейных коэффициентах матричные модели становятся стохастическими или нелинейными и во втором случае могут демонстрировать каскад бифуркаций и хаотическое поведение.

Обобщая вышесказанное, можно отметить, что, во-первых, известные модели демографических процессов основаны на переносе популяционной динамики живых организмов на область человеческого общества и, в основном, были созданы в прошлом веке, в постиндустриальном обществе, отличавшемся высокой степенью централизации при относительно малой горизонтальной связности; а во-вторых, малоизученным направлением исследований остаются измерение и учет стремительно меняющихся социокультурных условий, процессов информатизации и новых форм коммуникации в формировании репродуктивных стратегий поведения населения. В связи с этим востребованными становятся новые способы уточнения и реидентификации мотивационных и популяционных моделей демографических процессов, методов их адаптации к моделированию процессов, протекающих в регионах РФ в существующих социокультурных реалиях. Перспективным направлением развития этой области исследований видится представление демографических процессов в форме нелинейных динамических систем, оценка их динамики методами статистического, вариационного и других видов анализа. При этом известные демографические модели будут дополнены с точки зрения влияния на них информационно-культурных факторов.

Результатами учета социокультурных детерминант в математическом моделировании будут являться: а) уточнение имитационных и качественных моделей демографических процессов; б) развитие комплекса методов и средств анализа нелинейных систем и процессов; в) более точная эмпирическая и теоретическая оценка влияния социокультурных факторов на демографические процессы и их моделирование, а также новые знания об устойчивости демографических моделей, учитывающих социокультурные факторы. Это позволит усовершенствовать существующие методы прогнозирования социально-демографических процессов и уточнить степень влияния информационно-культурных компонент на популяционную динамику.

#### **Список источников**

1. Волков А. г., Сороко Е. Л. Имитационная модель демографического развития семьи // Демографические процессы и их закономерности / под ред. А.Г. Волкова. — М.: Мысль, 1986. — С. 76-88.

2. Демографический энциклопедический словарь / гл. ред. Валентей Д. И. — М.: Сов. энцикл., 1985. — 608 с.
3. Законы истории: Математическое моделирование и прогнозирование мирового и регионального развития / отв. ред. А. В. Коротаев, Ю. В. Зинькина. — Изд. 3, суц. перераб. и доп. — М.: Издательство ЛКИ, 2010. — 344 с.
4. Нобелевская премия: официальный сайт Фонда им. А. Нобеля [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nobelprize.org/> (дата обращения: 11.05.2019).
5. Носова М. г. Применение математической модели к исследованию процесса изменения демографической ситуации в Российской Федерации // Молодой ученый. — 2017. — № 42. — С. 1-4 [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/archive/176/46020/> (дата обращения: 11.05.2019).
6. Капица С. П. Общая теория роста человечества: сколько людей жило, живет и будет жить на Земле. — М.: Наука, 1999. — 190 с.
7. Подлазов А. В. Глобальная демографическая теория // Демографическое обозрение. — 2018. — № 5 (1). — С. 39-63 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.17323/demreview.v5i1.7709>
8. Рождаемость в России: меры и мнения / Пресс-выпуск Всероссийского центра изучения общественного мнения № 3560 от 22.01.2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://wciom.ru/> (дата обращения: 11.05.2019).
9. Brouhns N., Denuit M., Vermunt J. K. A Poisson log-bilinear regression approach to the construction of projected lifetables // Insurance: Mathematics and Economics. — 2002. — Vol. 31. — P. 373-393.
10. Caswell H. Matrix Population Models. 2nd Edition. — Sunderland: Sinauer Associates Inc., 2001. — 713 p.
11. Costantino R. F., Desharnais R. A., Cushing J. M., Dennis B. Chaotic dynamics in an insect population // Science. — 1997. — Vol. 275. — P. 389-391. — DOI: 10.1126/science.275.5298.389
12. Galton F., Watson H. W. On the probability of the extinction of families // Journal of the Royal Anthropological Institute. — 1875. — Vol. 4. — P. 138-144.
13. Nambodiri K. Social Dynamics: Models and Methods. By Nancy Brandon Tuma and Michael T. Hannan. Academic Press, 1984 // Cloth, Social Forces. — 1986. — Vol. 64. — I. 4. — P. 1085-1087 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1093/sf/64.4.1085>.
14. Samir K. C., Lutz W. The human core of the shared socioeconomic pathways: Population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100 // Global Environmental Change. — 2017. — Vol. 42. — P. 181-192. — DOI:10.1016/j.gloenvcha.2014.06.004.

### Информация об авторе

**Ворошилова Анжелика Игоревна** (Россия, Екатеринбург) — кандидат социологических наук, ассистент кафедры социологии и социальных технологий управления, Институт государственного управления и предпринимательства Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: a.i.voroshilova@urfu.ru).

Voroshilova A. I.

### PROSPECTS OF THE MATHEMATICAL MODELING METHODS DEVELOPMENT OF DEMOGRAPHIC PROCESSES WITH CONSIDERATION OF SOCIOCULTURAL DETERMINANTS<sup>1</sup>

*The study includes a brief overview of the evolution of mathematical modeling methods for demographic processes. On the basis of the identified trends, suggestions were made to account sociocultural determinants in the formation of reproductive strategies.*

<sup>1</sup> The article is processed as one of the outputs of the research project “Fertility and parenting in Russian regions: models, invigoration strategies, forecasts”, supported by the President of Russian Federation, project no. NSh-3429.2018.6.

**Keywords:** demographical prediction models, sociology of culture, informatization, digital society, mathematical modeling, theory of dynamical systems, statistical analysis.

### Author

**Voroshilova Anzhelika Igorevna** (Russia, Ekaterinburg) — PhD in Sociology, Assistant of the Department of Sociology and Social Technologies of the Institute of Public Administration and Entrepreneurship of the Ural Federal University (620002, Yekaterinburg, Mira str., 19, e-mail: a.i.voroshilova@urfu.ru).

### References

1. Volkov A. G., Soroko E. L. Imitation model of the demographic development of the family // Demographic processes and their laws / ed. A.G. Volkov. — M.: Thought, 1986. — P.76-88.
2. Demographic Encyclopedic Dictionary / Ch. ed. Valentey D. — Moscow: Sov. Encycl., 1985. — 608 p.
3. The laws of history: Mathematical modeling and forecasting of world and regional development / Ed. A. V. Korotaev, Yu. V. Zinkina. — Ed. 3<sup>rd</sup> reclaiming and add. — M.: LKI Publishing House, 2010. — 344 p.
4. Nobel Prize: the official website of the Foundation. A. Nobel [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nobelprize.org/> (access date: 05/11/2019).
5. Nosova M. G. The application of the mathematical model to the study of the process of changing the demographic situation in the Russian Federation // Young Scientist. — 2017. — No. 42. — P. 1-4 [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/archive/176/46020/> (access date: 05/11/2019).
6. Kapitsa S.P. General theory of the growth of humanity: how many people lived, lives and will live on Earth. — M.: Science, 1999. — 190 p.
7. Podlazov A.V. Global demographic theory // Demographic Review. — 2018. — No. 5 (1). — P. 39-63 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.17323/demreview.v5i1.7709>
8. Fertility in Russia: Measures and Opinions // Press Release of the All-Russian Center for the Study of Public Opinion No. 3560 of January 22, 2017 [Электронный ресурс]. URL: <https://wciom.ru/> (access date: 05/11/2019).
9. Brouhns N., Denuit M., Vermunt J. K. A Poisson log-bilinear regression approach to the construction of projected lifetables // Insurance: Mathematics and Economics. — 2002. — Vol. 31. — P. 373-393.
10. Caswell H. Matrix Population Models. — 2nd Edition. — Sunderland: Sinauer Associates Inc., 2001. — 713 p.
11. Costantino R. F., Desharnais R. A., Cushing J. M., Dennis B. Chaotic dynamics in an insect population // Science. — 1997. — Vol. 275. — P. 389-391. — DOI: 10.1126/science.275.5298.389
12. Galton F., Watson H. W. On the probability of the extinction of families // Journal of the Royal Anthropological Institute. — 1875. — Vol. 4. — P. 138-144.
13. Namboodiri K. Social Dynamics: Models and Methods. By Nancy Brandon Tuma and Michael T. Hannan. Academic Press, 1984 // Cloth, Social Forces. — 1986. — Vol. 64. — I. 4. — P. 1085-1087 [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1093/sf/64.4.1085>
14. Samir K. C., Lutz W. The human core of the shared socioeconomic pathways: Population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100 // Global Environmental Change. — 2017. — Vol. 42. — P. 181-192. — DOI:10.1016/j.gloenvcha.2014.06.004.