

---

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ / ECONOMIC THEORY  
AND HISTORY**

---

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКРОСОЦИАЛЬНЫХ  
ПРОЦЕССОВ С УЧЕТОМ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ**

*Шмелева Анна Геннадьевна<sup>1</sup>,  
Власов Георгий Владимирович<sup>2</sup>,  
Ладынин Андрей Иванович<sup>3</sup>,  
Зайцева Екатерина Валерьевна<sup>4</sup>.*

*В работе обоснована важность оценки макросоциальных процессов и необходимость прогнозирования динамики изменения численности населения с учетом различных факторов. Представлен обзор имитационных моделей, по результатам выбрана математическая модель, на основе которой создана программа, позволяющая проводить исследование взаимовлияния факторов, например, уровень развития технологий на ВВП и численность населения. Математическая модель дополнена функциональной зависимостью, учитывающей влияние кризисных (катастрофических) явлений, позволяющей задавать их масштаб и периодичность. Разработанная программа может быть применена для оценки стратегий решения различных глобальных проблем.*

*Ключевые слова: математическая модель анализа макросоциальных процессов, прикладная программа, анализ мировой демографии, моделирование кризисных (катастрофических) явлений.*

*JEL коды: J11, C63, C88*

**Введение**

Развитие мировой экономики определяет тенденции научных исследований — постановку актуальных задач, направленных на оценку динамики макросоциальных процессов, способствующих формированию стратегий развития посредством анализа альтернатив. Активное внедрение достижений науки, отсутствие пандемий, глобальных военных конфликтов, а также периодов голода, привели к стабильному увеличению как численности населения земли в целом, так и средней продолжительности жизни. Рост численности населения Земли ставит ряд вопросов, требующих особого внимания, игнорирование которых может привести человечество к колоссальным проблемам, например, таким как нехватка продовольствия и ресурсов, загрязнение окружающей среды,

---

<sup>1</sup> Шмелева Анна Геннадьевна — кандидат физико-математических наук, доцент, ФГБОУ ВО РТУ МИРЭА, Москва, Россия.

<sup>2</sup> Власов Георгий Владимирович — эксперт — IBS Group, Москва, Россия.

<sup>3</sup> Ладынин Андрей Иванович — ст. преподаватель ФГБОУ ВО РТУ МИРЭА, Москва, Россия.

<sup>4</sup> Зайцева Екатерина Валерьевна — студентка ФГБОУ ВО РТУ МИРЭА, Москва, Россия.

пандемии. Современные информационные технологии позволяют проводить анализ актуальных задач, используя имитационное моделирование, основываясь на научно-теоретических предпосылках, где сложность и детализация модели может увеличиваться в зависимости от накопленных статистических данных.

В настоящее время является актуальным прогнозирование динамики различных макросоциальных процессов на основе имитационного моделирования. Множество мировых организаций, включая ООН, проявляют интерес к данным исследованиям. Особый интерес представляет построение математических моделей демографических процессов, с учетом различных факторов: военных конфликтов, пандемий, техногенных катастроф.

Математические модели позволяют сформировать прогноз, на основе которого можно провести анализ альтернатив и спрогнозировать стратегию развития цивилизации. В данной статье представлены некоторые результаты расчетов с применением разработанной программы, позволяющие оценить динамику изменения численности населения с учетом различных факторов.

### **Постановка проблемы**

Увеличение численности населения земли неминуемо приводит к формированию ряда задач, которые необходимо анализировать уже в настоящее время, например, конечность климатических зон для комфортного проживания, существование зон с ограниченными ресурсами. В современных условиях, демографический взрыв, являющийся следствием высокого уровня жизни большинства развитых стран, формирует ряд проблем. Перечислим наиболее значимые из них:

- экспоненциально-быстрый рост населения планеты в последние годы;
- индустриализация и связанный с ней промышленный рост, который вызывает загрязнение окружающей среды;
- нехватка продовольствия;
- нехватка природных ресурсов;
- рост отходов жизнедеятельности человека и производств.

Для решения указанных проблем необходимо проанализировать причины их возникновения и перспективы развития цивилизации, разработать мероприятия по снижению действия негативных факторов и оценить их влияние на мировые макросоциальные процессы.

Долгосрочное прогнозирование макросоциальных процессов позволяет исследовать будущее состояние общества в зависимости от стратегии его развития. На основе прогнозного моделирования возможно выявить условия достижения устойчивого социально-экономического роста и уточнить критерии эффективного развития. Для обеспечения точности и адекватности имитационной модели динамики демографических процессов, необходимо корректно описывать существующие в реальном мире взаимосвязи между различными сферами деятельности человека и верифицировать полученные результаты, используя статистические данные.

### **Современные пути решения**

На сегодняшний день созданы и получили развитие несколько моделей долгосрочного прогнозирования, позволяющих измерить динамику основных экономических и социальных

показателей в долгосрочной перспективе. Это модели Мир-1, Мир-2 Джея Форрестера, Мир-3 Ричарда Медоуза, модель Месаровича-Пестеля и ряд других (Садовничий и др., 2012; Капица 2004; Форрестер, 2003).

Однако, современные модели должны быть модифицированы с учетом накопленных данных и развитием информационных технологий. При анализе моделей был выявлен ряд особенностей, которые требуют доработки с учетом современных тенденций:

- модели не учитывают особенности современной экономики;
- модели не позволяют учесть научно-технический прогресс — ключевой фактор современной демографической проблемы;
- некоторые модели, например, модель Медоуза (1972), предполагает наличие знаний о характеристиках влияния различных узкоспециализированных факторов, что формирует дополнительные требования к начальным данным.

В настоящее время существует необходимость разработки новых имитационных моделей, позволяющих повысить точность и релевантность результатов исследований. Рядом ученых были предприняты попытки повысить точность и результативность исследований, благодаря модификации существующих и разработки новых имитационных моделей, отвечающих современным требованиям. Например, работы С. П. Капицы (1992, 1996), С. Ю. Малкова (2007), А. А. Акаева и В. А. Садовниченко (2012).

#### **Имитационная модель оценки динамики макросоциальных процессов**

Рассмотрим модификацию модели Мир-системы, предложенной в 2010 г. А. В. Коротаевым, С. Ю. Малковым и Д. А. Халтуриной. Учеными была предложена модификация модели, позволяющая уточнить изменения демографии в соответствии с возникающими глобальными и локальными кризисами. Имитационная модель динамики изменения демографии дополнена функциональной зависимостью, учитывающей влияние кризисных и катастрофических явлений.

Модель определяется следующим набором дифференциальных уравнений:

$$\frac{dN}{dt} = rN(t)^2 \left[ 1 - \frac{N}{K(N)} \right], \quad (1)$$

$$\frac{dT}{dt} = k_T S_T Y, \quad (2)$$

$$\frac{dE}{dt} = k_E S_E \frac{Y}{N} E (1 - E), \quad (3)$$

$$Y = eNT, \quad (4)$$

$$K(N) = (N_c + \gamma(N(t) - N_0) \exp(-k(N(t) - N_0)))V, \quad (5)$$

$$V = 1 - \text{coef}_1 (\sin(\text{coef}_2 * t)), \quad (6)$$

где  $K(N)$  — мгновенная емкость среды, т.е. наибольшая численность населения,

достижимая при данном уровне развития человечества;

$N_c$  — стационарная численность населения мира (5,2 млрд чел.);

$N_0$  — величина допустимого биопотребления (соответствует допустимому населению Земли около 1 млрд чел;

$k$  — поправочный коэффициент;

$\gamma$  — калибровочный коэффициент, который определяется методом наименьших квадратов исходя из ретроспективных данных экономической динамики;

- $V$  — функциональная зависимость, учитывающая влияние кризисных (катастрофических) явлений;
- $coef_1$  — масштаб катастрофических явлений;
- $coef_2$  — период катастрофических явлений;
- $N$  — численность населения (млрд человек);
- $T$  — уровень развития технологий;
- $E$  — уровень грамотности (доля грамотного населения от всех);
- $Y$  — ВВП (относительно ВВП в 2000 г);
- $s_T$  — доля в ВВП  $Y$  инвестиций в повышение производительности труда;
- $s_E$  — доля в ВВП  $Y$  инвестиций в образование;
- $k_T$  — отдача от инвестиций в технологии;
- $k_E$  — отдача от инвестиций в образование;
- $r$  — коэффициент роста численности населения;
- $e$  — доля трудоспособного населения от всего населения.

### Верификация имитационной модели

На основе определяющих соотношений (1–6), разработана прикладная программа, позволяющая проводить имитационное моделирование мировых макросоциальных тенденций, строить долгосрочные и среднесрочные прогнозы (рис. 1), а также учитывать изменение различных параметров системы.

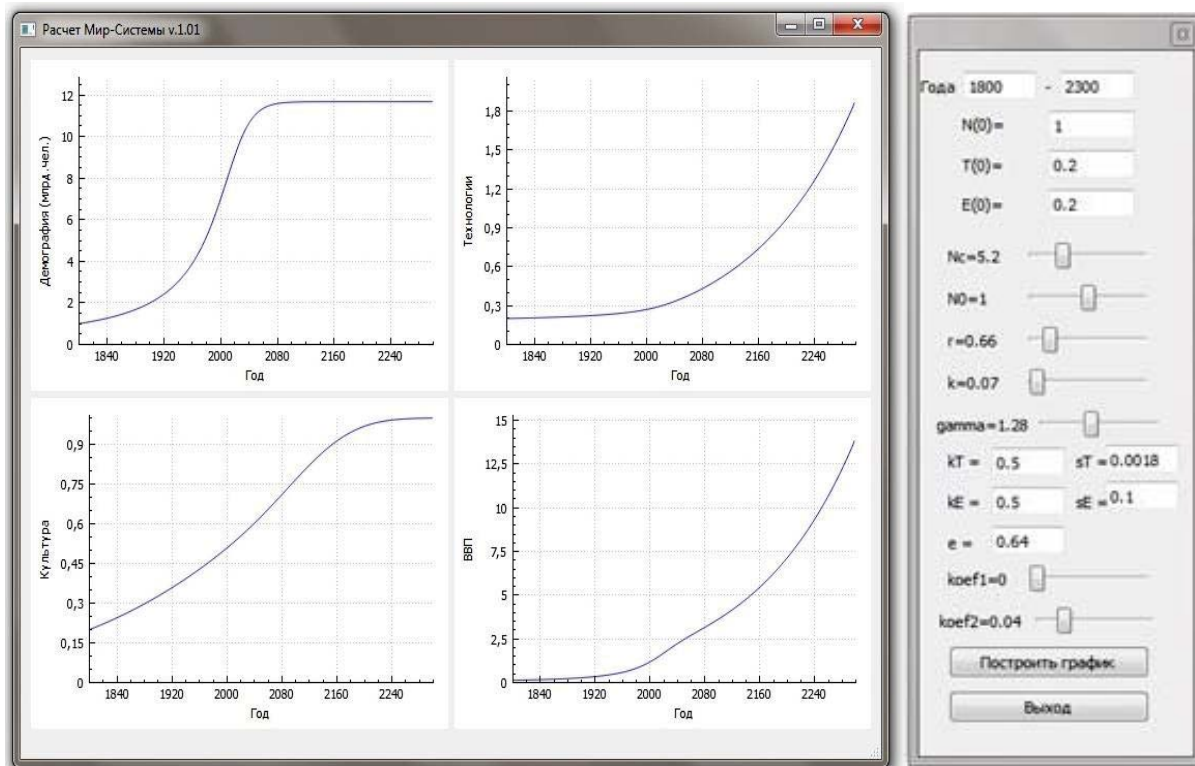


Рис. 1. Интерфейс разработанной программы.

Источник: разработано авторами.

Для исследования в качестве начального временного периода был выбран 1800 г., а в качестве горизонта прогнозирования — 2300 г.

Анализ существующих статистических данных показал, что для имитационного моделирования мировой демографической ситуации необходимо определить следующие значения:

$$N(1800) = 1 \text{ млрд чел.};$$

$$T(1800) = 0.2 \text{ — доля ВВП технологий от всего ВВП};$$

$$E(1800) = 0.2 \text{ — доля грамотного населения от всех};$$

$$e = 0.64 \text{ — доля трудоспособного населения от общей его численности};$$

$$k_T = 0.5 \text{ — отдача от инвестиций в технологии};$$

$$k_E = 0.5 \text{ — отдача от инвестиций в образование};$$

$$s_T = 0.0018 \text{ — доля в ВВП } Y \text{ инвестиций в повышение производительности труда};$$

$$s_E = 0.1 \text{ — доля в ВВП } Y \text{ инвестиций в образование}.$$

Апробация созданной программы подтвердила релевантность полученных результатов и соответствие существующим известным моделям. Так, предложенный С.П. Капицей прогноз стабилизации численности населения подтверждается расчетами с использованием модифицированной модели для параметров системы  $r = 0.66$ ,  $k = 0.07$ ,  $\gamma = 1.28$ ,  $coef_1 = 0$ . Данный прогноз справедлив для случая полного отсутствия мировых катаклизмов и соответствующих предпринятых человечеством мер для стабилизации численности населения. При этих параметрах наблюдается стабилизация численности населения на уровне 11,67 млрд человек к 2050 г. (рис. 2).

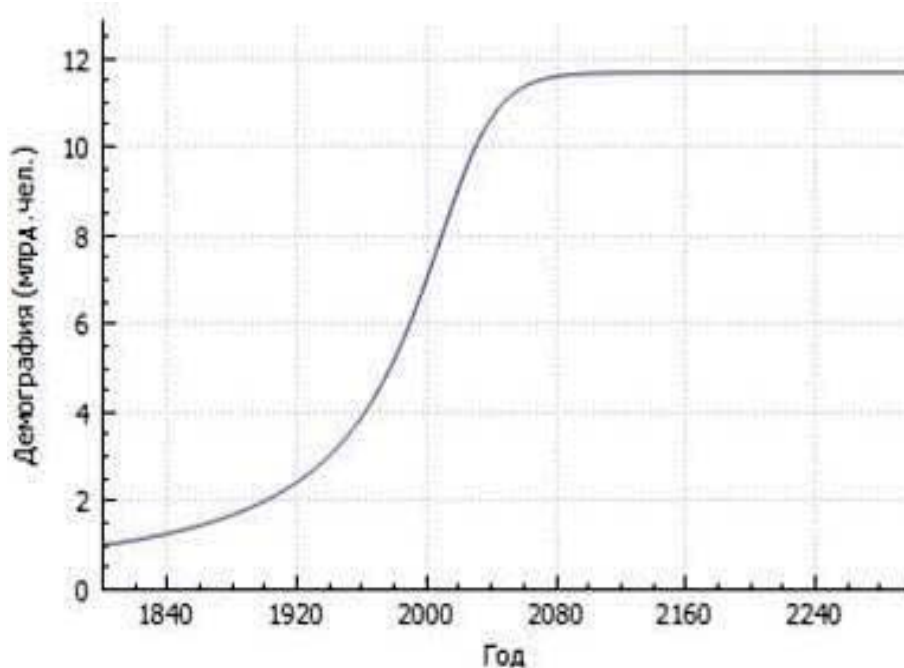


Рис. 2. Прогнозируемые расчеты демографии при  $r=0.66$ ,  $k=0.07$ ,  $\gamma=1.28$ ,  $coef_1=0$

Источник: разработано авторами.

В то же самое время, уже при небольших значениях параметра  $coef_1$ , характеризующего кризисные явления, наблюдается появление циклических процессов



изменения численности населения. На рис. 3 представлены расчеты для параметров системы  $r = 0.66$ ,  $k=0.07$ ,  $\gamma=1.28$ ,  $koef_1=0.03$ ,  $koef_2=0.04$ .

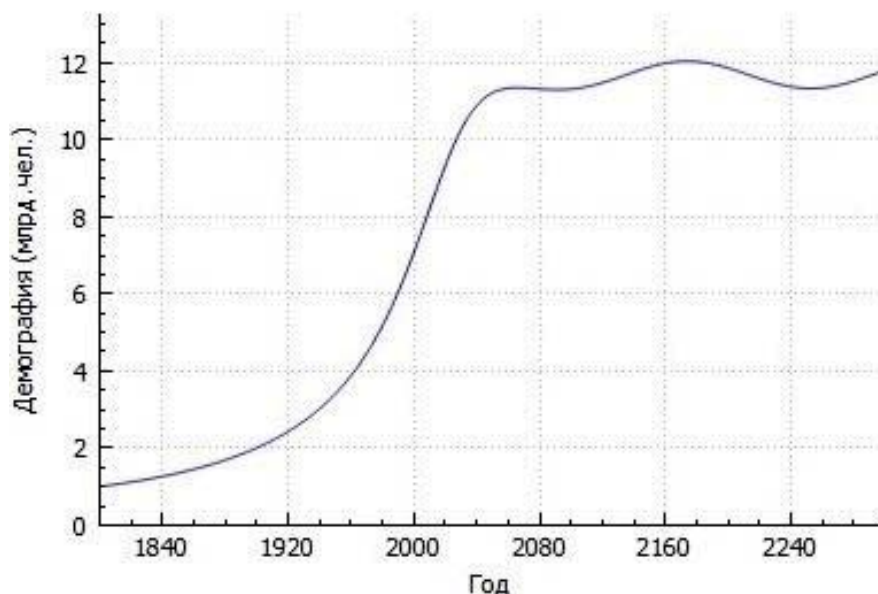


Рис. 3. Прогнозируемые расчеты демографии для  $r = 0.66$ ,  $k=0.07$ ,  $\gamma=1.28$ ,  $koef_1 = 0.03$ ,  $koef_2 = 0.04$

Источник: разработано авторами.

Разработанная прикладная программа позволяет строить оценочные прогнозы динамики изменения важных социально-экономических показателей. Разработанная программа позволяет оценить изменение демографии, ВВП и ряда других ключевых параметров как для всего мира в целом, так и для страны или конкретного региона, в частности. Модельными экспериментами был подтвержден прогноз С.П.Капицы относительно стабилизации численности мирового населения, без учета современных тенденций развития общества.

На основе построенных прогнозов показано, что современные мировые тенденции развития человечества требуют эффективных механизмов анализа динамики изменения факторов, в том числе, численности населения, с учетом влияния кризисных и катастрофических явлений в стране и мире.

### Заключение

Глобальные проблемы развития цивилизации, такие как нехватка ресурсов, перенаселение, загрязнение окружающей среды, требуют разработки методов и инструментов, позволяющих анализировать альтернативы и разрабатывать стратегии исключения неблагоприятных сценариев. В статье представлена созданная прикладная программа на основе математической модели Мир-Система (Садовничий и др., 2012), дополненной функциональной зависимостью, позволяющей строить оценочные прогнозы влияния катастрофических явлений. Представлены модельные эксперименты, демонстрирующие функционал программы. Проведенная апробация модели и программы подтвердили прогноз С.П.Капицы относительно стабилизации численности населения. Однако необходимо отметить, что кризисные и катастрофические явления сказываются как

на отдельных странах, так и на развитии экономики и технологий всего мира, а также на демографических процессах. Разработанная программа является первым приближением в решении актуальных задач. Программа будет дополнена модулями хранения и обработки статистических данных, алгоритмами анализа данных с использованием технологий машинного обучения и искусственного интеллекта, направленных на формирование значений, представленных в модели параметров. Широкий спектр параметров модели включает: уровень развития технологий, отдачу от инвестиций в технологии, отдачу от инвестиций в образование, величину допустимого биопотребления, долю трудоспособного населения от всего населения и другие, каждый из которых требует изучения при прогнозировании и разработке стратегий решения различных демографических, экологических и экономических проблем.

### Список литературы

1. Садовничий В. А., Акаев А. А., Коротаев А. В., Малков С. Ю. (2012). Моделирование и прогнозирование мировой динамики. М.: ИСПИ РАН, 2012. 359 с. [Sadovnichy V.A., Akaev A.A., Korotaev A.V., Malkov S.Yu. (2012). Modeling and forecasting of world dynamics. Moscow: ISPI RAS. (In Russian)].
2. Капица С. П. (2004). Демографическая революция и будущее человечества // В мире науки. №4. С. 82–91. [Kapitza S.P. (2004). Demographic revolution and the future of mankind. V mire nauki. No. 4, pp. 82–91. (In Russian)].
3. Капица С. П. (1992). Математическая модель роста населения мира // Математическое Моделирование. Т.4. №6. [Kapitza S.P. (1992). Mathematical model of world population growth. Matematicheskoe modelirovanie. V.4. No 6. (In Russian)].
4. Капица С. П. (1996). Феноменологическая теория роста населения Земли // Успехи физических наук. Т.166. №1. [Kapitza S.P. (1996). The phenomenological theory of world population growth. Uspekhi fizicheskikh nauk. Vol.39. No 1. (In Russian)].
5. Форрестер Д. (2003). Мировая динамика: Пер с англ /Д.Форрестер. М.: ООО "Издательство АСТ; СПб.: TerraFantastica. [Forrester D. (2003). World dynamics. Moscow: LTD" Publishing house AST; SPb.: TerraFantastica. (In Russian)].
6. Малков С. Ю. (2007). Устойчивость социальных структур и цивилизационные особенности России // Информационные войны. № 3 (3). С. 14-45. [Malkov S.Yu. (2007). Stability of social structures and civilizational features of Russia // Informationsnyye voyny. No. 3 (3), pp. 14-45. (In Russian)].
7. Коротаев А. В., Малков С. Ю., Халтурина Д. А. (2010). Компактная математическая макромодель технико-экономического и демографического развития мир-системы (1-1973 гг.) В сборнике: История и синергетика: математическое моделирование социальной, экономической и культурной динамики / Малков С.Ю., Коротаев А.В. Сер. «Синергетика в гуманитарных науках» Российский государственный гуманитарный университет, Факультет истории, политологии и права, Академия военных наук, Центр проблем СЯС. М., С. 5-48. [Korotaev A.V., Malkov S.Yu., Khalturina D.A. (2010). Compact mathematical macromodel of technical-economic and demographic development of the world system (1-1973) in the collection: History and synergetics: mathematical modeling of social, economic and cultural dynamics / Malkov S.Yu., Korotaev A.V. Ser. "Synergetics in the Humanities" Russian state University for the

---

Humanities, Faculty of history, political science and law, Academy of military Sciences, center for problems of the NSF. Moscow, pp. 5-48. (In Russian)].

8. Meadows D.H; Randers J., Meadows D.L., Behrens W.W. (1972). The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. Universe Books.

## MACRO SOCIAL PROCESSES MATHEMATICAL MODELING METHODS

***Shmeleva A.G.,***

*MIREA — Russian Technological University, Moscow, Russia*

***Vlasov G.V.,***

*Rostelecom PJSC*

***Ladyinin A.I.,***

*MIREA — Russian Technological University, Moscow, Russia*

***Zaytseva E.V.,***

*MIREA — Russian Technological University, Moscow, Russia*

*The paper substantiates evaluating macrosocial processes importance and the dynamics of changes in the population need prediction, taking into account various factors. Simulation models review is presented. Based on the results, a mathematical model is selected on the basis of which a program was created that allows to study factors influence, for example, technology development on GDP level and population. The mathematical model is supplemented by a functional dependence that takes into account the impact of crisis (catastrophic) phenomena, allowing to set their scale and frequency. The developed program can be used as strategies' evaluation tool during various global problems solving.*

*Keywords: mathematical model for the analysis of macrosocial processes, applied program, analysis of world demography, modeling of crisis (catastrophic) phenomena*

*JEL codes: J11, C63, C88.*

---