



DOI: 10.19181/population.2023.26.2.3
EDN: ZTAQQK

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНВЕРГЕНЦИИ И ДЕПОПУЛЯЦИИ В СИСТЕМЕ ЦЕНТР-ПЕРИФЕРИЯ

Жулего В.Г., Балякин А.А.*, Сорокин М.В.

НИИ «Курчатовский институт»
(123182, Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, 1)

*E-mail: BalyakinAA@gmail.com

Финансирование:

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 20-010-00576 «Моделирование экономико-демографических процессов в относительно замкнутом экономическом сообществе стран с разным уровнем экономического развития».

Для цитирования:

Жулего В.Г., Балякин А.А., Сорокин М.В. Исследование процессов конвергенции и депопуляции в системе Центр-Периферия // Народонаселение. – 2023. – Т. 26. – № 2. – С. 30-39. DOI: 10.19181/population.2023.26.2.3; EDN: ZTAQQK

Аннотация. В работе предложено развитие демографической модели, характеризующейся наличием двух условных страт (мегарегионов) — Центра и Периферии, отличающихся образом жизни, уровнем развития и ценностными установками. Проведено изучение процессов конвергенции и депопуляции в неоднородной системе типа Центр-Периферия. Рассмотрены различные варианты «догоняющего развития» Периферии. В рамках «модельных экспериментов» указаны режимы экономического роста, способствующие сближению уровней дохода в Центре и Периферии в зависимости от величины характерного времени конвергенции. Выявлены режимы, когда будет наблюдаться устойчивая депопуляция Периферии, которая при соответствующих условиях может стать необратимой. Показано, что в ряде случаев необходимо экономическое участие Центра в изменении ситуации в Периферии с целью добиться экономического сближения для поддержания устойчивости системы в целом. В качестве объяснительного принципа наблюдаемых явлений предложено использовать феномен институциональной ловушки. Предложен ряд социально-экономических интерпретаций динамики Системы Центр-Периферия. Обсуждается возможность изменения поведения системы путём принятия соответствующих управленческих решений и их связь с численными значениями переменных, полученных в компьютерном эксперименте. Дальнейшее развитие предложенной модели может заключаться в исследовании иных сценариев экономического взаимодействия, а также в учёте дополнительных параметров в уравнениях экономического роста, например, монетарной политики.

Ключевые слова: система Центр-Периферия, моделирование социально-экономических процессов, демография, институциональная ловушка, конвергенция, депопуляция.

Введение

Результаты математического моделирования социально-экономических процессов используются как в сфере государственного управления и стратегического планирования, так и в крупном бизнесе [1–3]. При этом запрос современного общества сфокусирован на концепции «устойчивого развития», которая сталкивается с рядом вызовов¹. В частности, серьёзной проблемой, препятствующей устойчивому развитию, является демографический переход, обусловленный увеличением продолжительности жизни людей, изменением их образа жизни, и связанное с этим старение населения. Эти факторы в совокупности приводит к новым социально-экономическим и медицинским проблемам (в том числе к росту угроз глобальных пандемий, увеличению риска появления новых или возврата исчезнувших инфекций).

Важность демографии и сопряжённых с ней изменений в социальной жизни общества признаётся как у нас в стране, так и во всем мире [4]. Соответственно, появляется актуальная научная задача по моделированию динамики роста народонаселения с учётом социально-экономических факторов. Анализ миграционных потоков сам по себе является многофакторной задачей, во многом зависящей от исторического контекста. Так, для эпохи появления человечества, помимо очевидного градиента населённости и существовавших географических, климатических и иных внешних причин, важным фактором считается генетическая предрасположенность к поиску новизны [5]. Возникновение цивилизаций, пассионарность этносов, как движущая сила не только миграции, но и экспансии [6], принимающей формы военных действий или культурного проникновения, все ещё продолжает центробежную тенденцию миграционных

потоков. Однако, уже в эпоху географических открытий и колонизации возникает и противоположный поток, «восходящая диффузия» [7]. Метрополии становятся центром притяжения для мигрантов, не всегда добровольного [8; 9]. Центристские тенденции мотивируются разницей условий жизни, которые включают уровень доходов, доступность и качество образования, социальную защищённость, возможности самореализации и так далее. Тема изучения влияния демографических изменений на экономику стран становится особенно актуальной в периоды активных социально-экономических и политических изменений (например, [10] или крупное статистическое исследование Goldman Sachs «Азианомика в Америке: вклад и вызовы»²).

В настоящей работе предложено развитие стратовой демографической модели, характеризующейся наличием двух условных страт (мегарегионов), отличающихся образом жизни, уровнем развития и ценностными установками. В рамках модели используются обозначения Центр и Периферия, подчеркивающие роль этих страт как институциональных ловушек, определяющих демографические и экономические показатели групп стран и населения. Исходная стратовая модель [11] была дополнена некоторыми предположениями модели великой дивергенции/конвергенции Коротаяева [12].

Основные уравнения модели

Пусть $X(t)$ описывает численность населения условной страты Центр, а $Y(t)$ — численность страты Периферия. Определим относительные (без

размерные) величины как, $x = \frac{X}{X_0}$, $y = \frac{Y}{Y_0}$

где $X_0 = X(0)$ и $Y_0 = Y(0)$ — численности населения в начальный момент времени. Тогда их динамика может быть описана

¹ Unido Technology Foresight Manual. United Nations Industrial Development Organization. Vienna, 2005. Vol. 1. P. 8. — URL: <https://open.unido.org/api/documents/4788327/download/UNIDO%20TECHNOLOGY> (дата обращения: 10.01.2023).

² Asianomics in America. The bigger picture research by Goldman Sachs. May 2, 2022. — URL: <https://www.goldmansachs.com/insights/pages/gs-research/asianomics-in-america/report.pdf> (дата обращения: 10.01.2023).

системой дифференциальных уравнений [13]:

$$\frac{dx}{dt} = a_x x - d_x x^2 + w \frac{Y_0}{X_0} \quad \text{и} \quad \frac{dy}{dt} = a_y y - d_y y^2 - w \quad (1)$$

Здесь первые два слагаемых в правой части уравнений отвечают за логистический рост населения в стратах, определяя естественный прирост населения (разность между рождаемостью и смертностью) в момент t . Третье слагаемое с коэффициентом w отвечает за миграцию (переток между стратами). Поскольку модель двухкомпонентная, то миграционные потоки сохраняют общий размер популяции, следовательно, и знаки этих слагаемых должны быть противоположны, а для использования безразмерных величин нужно учесть, что относительное изменение населения Центра на одного мигранта будет иметь фактор Y_0 / X_0 по отношению к Периферии. В отсутствие миграции ($w = 0$) каждая из систем следует логистической кривой с насыщением, определяемым отношениями a_α / d_α , $\alpha = x, y$ [13].

В определённом приближении показатель доли ВВП на душу населения может служить количественным ориентиром для оценки направления (знака w в (1)) и интенсивности миграционных потоков. Однако, при наличии существенного неравенства, желательнее использование показателей, лучше отражающих уровень жизни возможно более широкого слоя граждан, например, медианного дохода. Кроме того, желательна корректировка этой величины с учётом паритета покупательной способности и «прожиточного минимума». Тогда, в рамках предлагаемой модели миграция:

$$w = \frac{A}{X_0} \left(\frac{S_x - S_y}{S_x + S_y} \right) \frac{xy}{x^2 + 1}, \quad (2)$$

где S_x , S_y — величина дохода на душу населения (с учетом сказанного выше) в стратах Центр и Периферии, соответственно; A — коэффициент нормировки миграционного потока.

Например, следуя [12], можно считать, что соотношение и динамика доходов определяются из решения уравнений следующего вида [5]:

$$\frac{dS_x}{dt} = b_x S_x \left(1 - \frac{g}{g_{max}} \right), \quad \frac{dS_y}{dt} = b_y S_y \left(1 - \frac{g}{g_{max}} \right)$$

$$\text{и} \quad g = x(m + S_x) + y(m + S_y), \quad (3)$$

где b_x и b_y — коэффициенты роста дохода, g и g_{max} — суммарный доход на душу населения и его предельная величина, m — сумма «прожиточного минимума» [12; 14]. Более точная модель может учитывать перетекание доходов вместе с миграционными потоками в зависимости от оценки относительной экономической активности мигрантов. Однако, в настоящей работе мы ограничимся рассмотрением достаточно простых сценариев экономического роста, сосредоточившись на исследовании динамики численности населения.

Общие для различных сценариев параметры, используемые в дальнейшем в математическом моделировании, выбраны следующими:

$$a_x = 0.1, \quad a_y = 0.1, \quad d_x = 0.0095, \quad d_y = 0.005, \\ Y_0 / X_0 = 0.2, \quad A = 0 \div 0.1.$$

Без учёта миграции они соответствуют растущим популяциям как Центра, так и Периферии, однако мы предполагаем, что страта Центр находится существенно ближе к насыщению на логистической кривой, именно этим обусловлен выбор численных значений параметров. Специфические значения параметров при использовании логистической модели должны быть выбраны из соображений совпадения наблюдаемой динамики исследуемых систем на основе доступных статистических данных с ходом рассчитанных траекторий переменных x и y до настоящего момента.

В качестве модельной ситуации будем предполагать устойчивый экономический рост страты Центр с темпом β , который будем считать постоянным: $S_x = S_x(0) \exp(\beta t)$. Это предположение не уменьшает общность моде-

ли, поскольку важными для миграционных процессов являются относительные величины и их динамика, а уровень доходов Центра достаточно сильно коррелирован с глобальным для Системы уже благодаря большей доли экономики центра в ВВП Системы. Для страты Периферия мы рассмотрим модель конвергентного роста, когда существенный разрыв в уровне доходов между Центром и Периферией в начальный момент времени экспоненциально сокращается с характерным временем τ_c экономической конвергенции:

$$S_y = S_x - \Delta S \exp\left(-\frac{t}{\tau_c}\right).$$

Соответствующие иллюстрации приведены на рис. 1, где продемонстрировано сближение уровней дохода в странах Центр и Периферия в зависимости от величины характерного времени конвергенции τ_c . Параметры экономической конвергенции Центра и Периферии выбраны следующими: $\Delta S/S_x(0) = 0.5$, $\beta = 0.02$, $\tau_c = 5 \div 30$.

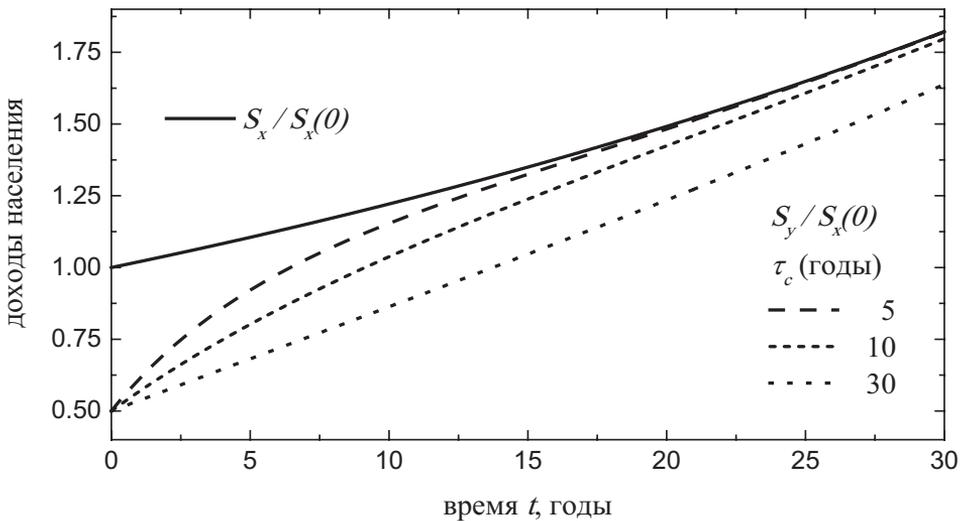


Рис. 1. Сближение уровней дохода в странах Центр и Периферия в зависимости от величины характерного времени конвергенции τ_c (сплошной линией показан нормированный доход Центра, пунктиром — нормированный доход Периферии для разных времён конвергенции)

Fig. 1. Convergence of income levels in the countries of the Center and the Periphery depending on the value of the characteristic convergence time τ_c (Solid line corresponds to normalized Center income dynamics, dashed lines — normalized Periphery income dynamics for various convergence times)

Источник: рассчитано авторами для модельной системы (1)-(3).

Результаты математического моделирования и их обсуждение

Численные расчёты в соответствии с моделью показывают, что при от-

сутствии экономического сближения ($\tau_c \rightarrow \infty$) Периферия испытывает устойчивый миграционный отток, который при выбранных параметрах демографической модели не компенсируется естественным

приростом населения и достаточно быстро приводит к депопуляции Периферии. При этом, в силу большей близости Центра к насыщению в демографической модели, миграционный приток в Центр фактически «растворяется», а при существенной депопуляции Периферии перестаёт компенсировать естественную убыль населения Центра, что может привести к депопуляции всей Системы Центр-Периферия.

Изменение этой тенденции требует сближения S_y и S_x , причём, за характерное время τ_c существенно меньшее, чем характерные времена демографических изменений. Отметим, что наличие параметра ΔS отражает концепцию догоняю-

щего развития, когда Периферия функционирует в той же системе ценностей, что и Центр. (рис. 2). Из приведённых иллюстраций видно, что Периферии нужно достаточное время (порядка $2\tau_c$) для выхода из режима снижения численности и возвращения к траектории роста населения. Поскольку на временах, значительно превышающих τ_c , заметно меняются параметры системы, что на практике соответствует демографическому переходу, качественной смене состояния системы, предложенная модель не может быть универсальной и не претендует на описание демографической динамики на длинных временных интервалах.

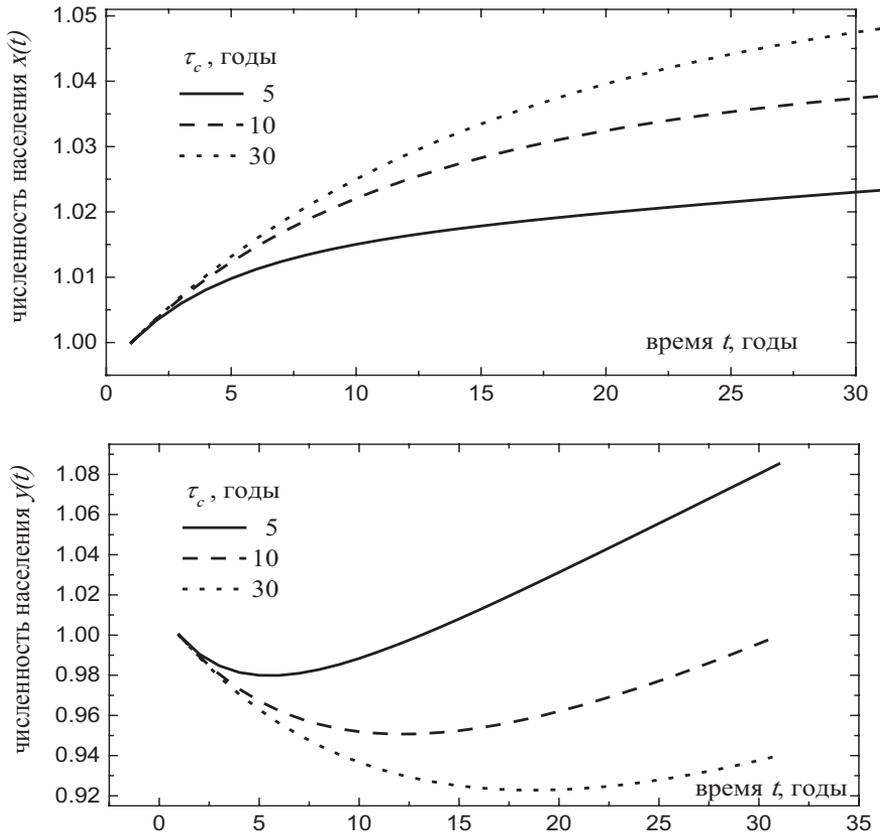


Рис. 2. Динамика численности населения Центра $x(t)$ и Периферии для различных величин τ_c

Fig. 2. Population dynamics of the Center $x(t)$ and the Periphery $y(t)$ for various values of τ_c

Источник: рассчитано авторами для модельной системы (1)-(3).

Устойчивое развитие (sustainable development) должно включать и решение общечеловеческих проблем в рамках глобальных договорённостей, таких как контроль изменений климата или распространения заболеваний³, что также практически невозможно без полноценного участия стран Периферии. Поток рабочей силы из Периферии до определённой степени позволяет решать, как проблему недостатка высококвалифицированных специалистов в определённых областях, так и вопрос поддержания сравнительно низкого уровня оплаты труда, не требующего высокой квалификации, в частности в сельском хозяйстве и секторе услуг. Одновременно подавляются потенциальные центры конкуренции и расширяются рынки сбыта. В то же время, всё чаще возникает вопрос, насколько такая модель может быть устойчивой, не приводит ли она к катастрофическим изменениям демографических и экономических перспектив Периферии, нарастанию политических проблем, что, в свою очередь, может вызвать уже неконтролируемые процессы миграции, разрушительные не только для Периферии, но и для Центра.

Таким образом, может быть оправданным экономическое участие стран Центра с целью добиться устойчивого экономического сближения. Ещё раз отметим, что вопрос равномерности доходов — важный фактор «качества» роста и его влияния на миграцию. Именно поэтому рост должен быть связан с достаточно медленной перестройкой структуры экономики и развитием общественных институтов и не может быть обеспечен единовременным «вливанием». С разной степенью эффективности могут предприниматься различные шаги в этом направлении — от прямой экономической помощи или государственных заимствований до многоуровневой кооптации, включающей интеграцию в финансовую и экономиче-

скую систему, доступ к рынкам капитала, создание высокооплачиваемых рабочих мест путём организации современного производства, развитие потребительского рынка, долгосрочные инфраструктурные проекты, вложения в науку и образование. Надо отметить, что экономическая помощь Центра зачастую обуславливается требованиями структурных реформ и/или политической интеграции, что может восприниматься со стороны Периферии как угроза суверенитету (не всегда беспочвенно). В результате может возникнуть «замкнутый круг», когда получение и эффективное использование помощи Центра затруднительно без проведения реформ, а экономическая ситуация делает подобную попытку политически невозможной.

По мнению авторов, для анализа демографической динамики может быть применена концепция институциональной ловушки [15], когда возникает невозможность изменения динамики системы ввиду существующих институциональных (правовых, моральных и других) ограничений. На практике это выражается в том, что попытки резкого слома существующих практик (экстраординарные подходы) приведут к радикальному изменению социальной ткани общества, а отказ от реформ приводит к институциональной диффузии, деструкции базовых институтов текущих социального и экономического порядков. Фактически, это означает отсутствие однозначно «хороших» решений.

На языке математических моделей этим ситуациям отвечает в первом случае резкое изменение параметров (новые законы и запреты) при сохранении начальных условий, а во втором — изменение начальных условий (таких переменных как численность разных страт). Отметим, что существующие на сегодня количественные методы оценки неустойчивости систем (показатели Ляпунова, размерности системы) могли бы позволить выбрать такое изменение параметров, которое не приведет к разбалансировке системы, исключит ее переход в хаотическое (или не-

³ Unido Technology Foresight Manual. United Nations Industrial Development Organization. Vienna, 2005. Vol. 1. P. 8. — URL: <https://open.unido.org/api/documents/4788327/download/UNIDO%20TECHNOLOGY> (дата обращения: 10.01.2023).

устойчивое) состояние. Представляется, что, несмотря на свою трудоемкость, эти исследования могут быть реализованы в будущем при наличии заинтересованности со стороны власти или представителей бизнеса.

Выводы

Предложенная модель позволяет оценить, насколько экономическое сближение создаёт демографическую (миграционную) конвергенцию Центра и Периферии. Фактор времени (τ_c) является критическим в вопросе, сможет ли страта Периферия за счёт опережающего экономического роста в достаточно обозримой перспективе (5–15 лет) выйти на уровень, когда миграционный отток не превышает естественный прирост населения. В противном случае наблюдается устойчивая необратимая депопуляция Периферии, причём Центр, находясь, как мы предположили, ближе к насыщению, фактически «растворяет» миграционный поток без существенного демографического эффекта.

Надо отметить, что в случае успешной экономической конвергенции страты Периферия и быстрого восстановления численности населения модель выходит за область применимости, так как демографические параметры такой страты должны изменяться, также приближаясь к соответствующим значениям для Центра. Понятно, что определённая специфика Периферии при этом может сохраняться: возрастной состав, образовательный уровень и другие параметры изменяются более медленно, чем экономика; так что та-

кая экстраполяция выходит за рамки нашего рассмотрения.

Отметим, что фактор времени является принципиально важным в демографических моделях. Во-первых, имеет место существенная необратимость демографических процессов, приводящая к «стреле времени» и в социальных процессах. Это выражается, в частности, в сложности изменения миграционных правил (легко принять мигрантов, тяжело их исключить из социума, не прибегая к экстраординарным методам) или демографических установок (отмена китайского подхода «одна семья — один ребёнок» не привела к росту рождаемости). В нашем случае это означает невозможность произвольного изменения параметров системы: происходит «наследование» состояний, и новые значения коэффициентов (рождаемость, смертность, коэффициент миграции и пр.) не могут резко изменить предыдущие тренды. Это отражает ригидность демографических систем (их «грубость» в терминологии В.И. Арнольда [16]). Во-вторых, в подобных задачах важным оказывается учет времени запаздывания: принятые решения не могут быть моментально отражены в системе, результат их воздействия отсрочен.

Дальнейшее развитие предложенной модели может заключаться в исследовании иных сценариев экономического взаимодействия, а также в учёте демографических и миграционных параметров в уравнениях экономического роста. Отдельным интересным вопросом должна стать социально-экономическая интерпретация полученных результатов и разработка на их основе предложений по оптимизации управленческих решений.

Литература и Интернет-источники

1. **Marsan, G. A.** Complex Systems and Society— Modeling and Simulation / G. A. Marsan, N. Bellomo, A. Tosin.— Springer, 2013.— 90 p. DOI: 978-1-4614-7242-1
2. **Соложенцев, Е. Д.** Цифровое управление государством и экономикой / Е. Д. Соложенцев // Актуальные проблемы экономики и управления.— 2018.— № 1(17).— С. 136–153. DOI: 10.32686/1812-5220-2020-17-2-22-39; EDN: YUTXDC
3. **Eberlin, M.** Foresight: How the Chemistry of Life Reveals Planning and Purpose / M. Eberlin.— Discovery Institute, 2019.— 576 p.
4. **Goodhart, C.** The Great Demographic Reversal: Ageing Societies, Waning Inequality, and an Inflation Revival / C. Goodhart, M. Pradhan.— Palgrave Macmillan, 2020.— 280 p.
5. **Chen, C.** Population Migration and the Variation of Dopamine D4 Receptor (DRD4) Allele Frequencies Around the Globe / C. Chen, M. Burton, E. Greenberger, J. Dmitrieva // Evolution and Human Behavior.— 1999.— Vol. 20.— No. 5.— P. 309–324.
6. **Гумилев, Л. Н.** Этногенез и биосфера Земли / Л. Н. Гумилев.— Ленинград : ЛГУ.— 1989.— 420 с.
7. **Гегузин, Я. Е.** Восходящая диффузия и диффузионное последствие / Я. Е. Гегузин // УФН.— 1986.— Т. 149.— № 5.— С. 149–159.
8. **Медушевский, Н. А.** Миграционные процессы современности: Ситуативное явление или глобальный исторический вызов? / Н. А. Медушевский, А. Р. Шишкина.— Москва : УРСС, 2018.— 256 с.
9. **Урнов, М. Ю.** Мир-система на переломе: Изменение баланса сил между странами Ядра и Периферии и начало глобального кризиса / М. Ю. Урнов.— Москва : УРСС, 2022.— 211 с.
10. **Abramitzky, R.** Streets of Gold: America's Untold Story of Immigrant Success / R. Abramitzky, L. Boustan.— Public Affairs, 2022.— 256 p.
11. **Zhulego, V. G.** 2-Phase Model for Population Growth / V. G. Zhulego, A. A. Balyakin // Chaos Modeling and Simulation (CMSIM).— 2015.— No. 3.— P. 193–204.
12. **Korotayev, A.** Great Divergence and Great Convergence. A Global Perspective / A. Korotayev, L. Grinin and J. Goldstone.— Springer, 2015.— 420 p.
13. **Михайлов, А. П.** Математические модели системы «человек-общество» / А. П. Михайлов, А. П. Петров.— Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2022—456 с.
14. **Коротаев, А. В.** Законы истории: Математическое моделирование и прогнозирование мирового и регионального развития / А. В. Коротаев, Д. А. Халтурина, А. С. Малков, Ю. В. Божевольнов, С. В. Кобзева, Ю. В. Зинькина.— Москва : Издательство ЛКИ, 2010.— 345 с.
15. **Полтерович, В. М.** Институциональные ловушки и экономические реформы / В. М. Полтерович.— Москва : Российская экономическая школа, 1998.— 37 с.
16. **Арнольд, В. И.** Теория катастроф / В. И. Арнольд // Итоги науки и техники. Серия: Современные проблемы математики. Фундаментальные направления.— 1986.— Т. 5.— С. 219–277.

Сведения об авторах:

Жулего Владимир Григорьевич, к. физ. – мат. н., главный советник Администрации президента НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия.

Контактная информация: e-mail: zhulego@mail.ru, Zhulego_VG@nrcki.ru; ORCID: 0000-0002-6625-6741; Scopus Author ID: 55606451600; РИНЦ AuthorID587953.

Балякин Артём Александрович, к. физ. – мат. н., начальник отдела, НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия.

Контактная информация: e-mail: BalyakinAA@gmail.com; ORCID: 0000-0002-8655-7998; Scopus Author ID: 7801310086; РИНЦ AuthorID124563.

Сорокин Михаил Владимирович, научный сотрудник, «НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия.
Контактная информация: e-mail: m40@lab2.ru; ORCID: 0000-0002-5308-8515; Scopus Author ID: 7005895287; РИНЦ AuthorID: 39274.

DOI: 10.19181/population.2023.26.2.3

CONVERGENCE AND DEPOPULATION PROCESSES IN THE CENTER-PERIPHERY SYSTEM

Vladimir G. Zhulego, Artem A. Balyakin*, Mikhail V. Sorokin

National Research Center “Kurchatov Institute”
(1 Akademika Kurchatova sq., Moscow, Russia, 123182)

*E-mail: BalyakinAA@gmail.com

Funding:

The study was carried out with the financial support of RFBR within the project № 20-010-00576 “Modeling economic-demographic processes in a relatively closed economic community of countries with different levels of economic development”.

For citation:

Zhulego V.G., Balyakin A.A., Sorokin M.V. Convergence and depopulation processes in the Center-Periphery system. *Narodonaselenie [Population]*. 2023. Vol. 26. No. 2. P. 30-39. DOI: 10.19181/population.2023.26.2.3 (in Russ.)

Abstract. *The paper proposes advancement of a stratum demographic model characterized by the presence of two strata — the Center and the Periphery, which are different in respects of their way of life, development level and social values. The processes of convergence and depopulation in the heterogeneous system of the Center-Periphery type were studied. Various variants of “catch-up development” of the Periphery are considered within the framework of numerical simulation. Modes of economic growth that contribute to the convergence of income levels in the countries of the Center and the Periphery are indicated, depending on the value of the characteristic time of convergence. There are identified the regimes of a stable and supposedly irreversible depopulation of the Periphery. It is shown that economic participation of the Center in changing the situation in the Periphery countries might be necessary to achieve economic convergence for maintaining the stability of the entire system. As an explanatory principle of the observed phenomena, the institutional trap concept is proposed. A number of socio-economic interpretations of the dynamics of the Center-Periphery system as well as the possibility of the System behavior control by appropriate management decisions are discussed on the results of computer modeling. Further development of the proposed model may include studying other scenarios of economic interaction and taking into account additional demographic and migration parameters in the equations of economic growth.*

Keywords: Center-Periphery system, modeling of socio-economic processes, demography, institutional trap, convergence, depopulation.

References and Internet sources

1. Marsan G.A., Bellomo N. and Tosin A. *Complex Systems and Society—Modeling and Simulation*. Springer. 2013. 90 p. DOI: 978-1-4614-7242-1
2. Solozhentsev E.D. Tsifrovoye upravleniye gosudarstvom i ekonomikoy [Digital management of the state and economy]. *Aktualnyye problemy ekonomiki i upravleniya [Actual Problems of Economics and Management]*. 2018. No. 1(17). P. 136–153. DOI: 10.32686/1812-5220-2020-17-2-22-39 (in Russ.)
3. Eberlin M. *Foresight: How the Chemistry of Life Reveals Planning and Purpose*. Discovery Institute. 2019. 576 p.
4. Goodhart C., Pradhan M. *The Great Demographic Reversal: Ageing Societies, Waning Inequality, and an Inflation Revival*. Palgrave Macmillan. 2020. 280 p.

5. Chen C., Burton M., Greenberger E., Dmitrieva J., Population migration and the variation of Dopamine D4 Receptor (DRD4) allele frequencies around the globe. *Evolution and Human Behavior*. 1999. Vol. 20. No. 5. P. 309–324
6. Gumilev L. N. Etnogenez i biosfera zemli [*Ethnogenesis and Biosphere of the Earth*], LGU [Leningrad State University]. 1989. (in Russ.)
7. Geguzin Ya. E. Ascending diffusion and the diffusion aftereffect. *Sov. Phys. Usp.* 1986. Vol. 29. P. 467–473. DOI: 10.1070/PU1986v029n05ABEH003386
8. Medushevsky N. A., Shishkina A. R., Migratsionnyye protsesy sovremennosti: situativnoye yavleniye ili globalnyy istorichesky vyzov? [*Modern Migration Processes: A Situational Phenomenon or a Global Historical Challenge?*]. Moscow. URSS. 2018. 256 p. (in Russ.)
9. Urnov M. Yu., Mir-sistema na perelome: Izmeneniye balansa sil mezhdru stranami Jadra i Periferii i nachalo global'nogo krizisa. [*The World-System at the Turning Point: Changing the Balance of Power between the Core and Periphery Countries and the Beginning of the Global Crisis*]. Moscow. URSS. 2022. 211 p. (in Russ.)
10. Abramitzky R., Boustan L. *Streets of Gold: America's Untold Story of Immigrant Success*. Public Affairs. 2022. 256 p.
11. Zhulego V. G., Balyakin A. A., 2-Phase model for population growth. *Chaos Modeling and Simulation (CMSIM)*. 2015. No. 3. P. 193–204.
12. Korotayev A., Grinin L., Goldstone J. *Great Divergence and Great Convergence. A Global Perspective*. Springer. 2015. 420 p.
13. Mikhailov A. P., Petrov A. P. Matematicheskiye modeli sistemy "chelovek-obshchestvo" [*Mathematical Models of the "Man-Society" System*]. Moscow. FIZMATLIT. 2022. 456 p. (in Russ.)
14. Korotayev A. V., Khalturina D. A., Malkov A. S., Bozhevolnov Yu. V., Kobzeva S. V., Zinkina Yu. V. Zakony istorii: Matematicheskoye modelirovaniye i prognozirovaniye mirovogo i regional'nogo razvitiya. [*Laws of History: Mathematical Modeling and Forecasting of World and Regional Development*]. Moscow. LKI Publishing House. 2010. 345 p. (in Russ.)
15. Polterovich V. M. InstitutSIONalnyye lovushki i ekonomicheskiye reformy [*Institutional Traps and Economic Reforms*]. Moscow. Rossiyskaya ekonomicheskaya shkola [Russian Economic School]. 1998. 37 p. (in Russ.)
16. Arnol'd V. I., Teorija katastrof [Catastrophe theory]. Itogi nauki i tehn. Seriya: Sovremennyye problemy matematiki. Fundamental'nyye napravleniya [*Science and Technics Outcomes. Ser. Modern Problems of Mathematics. Fundamental Directions*], 1986. Vol. 5. P. 219–277. (in Russ.)

Information about authors:

Zhulego Vladimir Grigorievich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Chief Adviser to the President Administration, National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, Russia.

Contact Information: e-mail: zhulego@mail.ru, Zhulego_VG@nrcki.ru; ORCID: 0000-0002-6625-6741; Scopus Author ID: 55606451600; Elibrary AuthorID: 587953.

Balyakin Artem Alexandrovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of Department, National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, Russia.

Contact information: e-mail: BalyakinAA@gmail.com; ORCID0000-0002-8655-7998; Scopus Author ID: 7801310086; Elibrary AuthorID: 124563.

Sorokin Mikhail Vladimirovich, Researcher, National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, Russia.

Contact information: e-mail: m40@lab2.ru; ORCID0000-0002-5308-8515; Scopus Author ID: 7005895287; Elibrary AuthorID: 39274.

Статья поступила в редакцию 16.01.2023, утверждена 03.05.2023, опубликована 30.06.2023.