

Раздел III. ТЕХНОЛОГИИ И ЭКОНОМИКА

5

Модернизация как глобальный процесс*

Сергей Юрьевич Малков

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова;
Институт экономики РАН

Ольга Игоревна Давыдова

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

В статье проведен анализ эмпирических данных по долгосрочной демографической и экономической динамике стран мира за период с начала XIX в. по настоящее время. Выявлены основные особенности этой динамики. Предложена математическая модель, описывающая демографо-экономическую динамику стран мира как отражение происходивших в них процессов социально-экономической модернизации (перехода от аграрного к индустриальному обществу). Приведены результаты моделирования.

Ключевые слова: модернизация, страны мира, долгосрочная демографическая и экономическая динамика, математическое моделирование.

Введение

Новое и Новейшее время – это время глобальных перемен, эпоха модернизации, перехода от аграрного общества к индустриальному на основе динамичного развития научно-технических знаний. Процесс модерниза-

* Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 20-61-46004).

Для цитирования: Малков С. Ю., Давыдова О. И. 2023. Модернизация как глобальный процесс. *История и Математика: Анализ глобального социоприродного развития* / Отв. ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев. Волгоград: Учитель. С. 105–128. DOI: 10.30884/978-5-70-57-6258-3_06.

For citation: Malkov S. Yu., Davydova O. I. 2023. Modernization as a Global Process. *History and Mathematics: Analysis of Global Socio-Natural Development* / Ed. by L. E. Grinin, A. V. Korotayev. Volgograd: Uchitel. Pp. 105–128 (in Russian). DOI: 10.30884/978-5-7057-6258-3_06.

ции проходил в разных странах по-разному, с различной скоростью и интенсивностью, но тем не менее это поистине глобальный процесс. Это хорошо видно на рис. 1 и 2, где представлены графики демографического роста и роста ВВП на душу населения в ряде стран мира в период с 1820 по 2008 г.

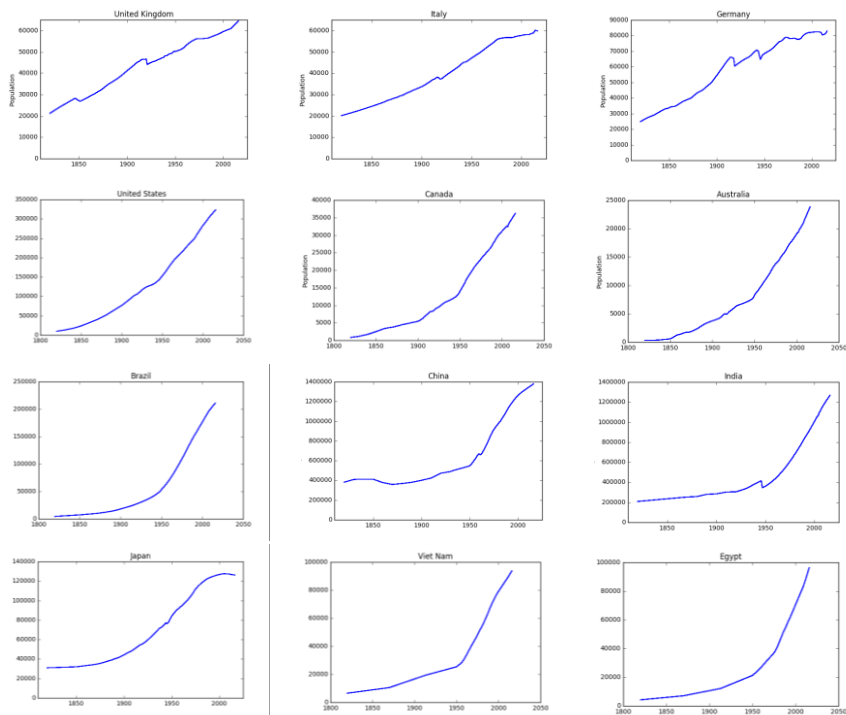


Рис. 1. Динамика численности населения ряда стран мира в период с 1820 по 2008 г., тыс. чел.

Источник: www.ggd.net/maddison.

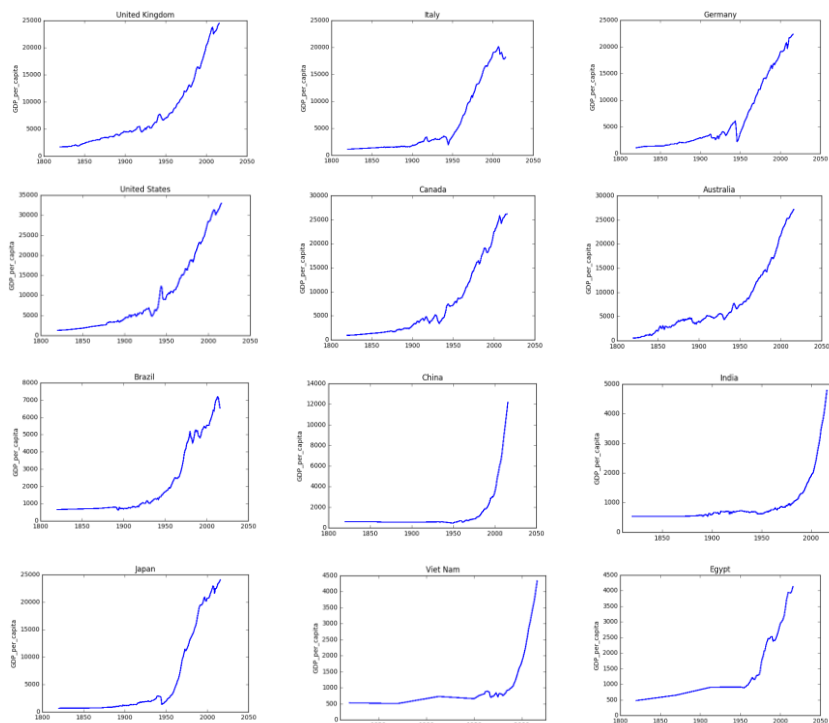


Рис. 2. Динамика ВВП на душу населения в ряде стран мира в период с 1820 по 2008 г. (ВВП измеряется в международных долларах США 1990 г.)

Источник: www.ggdnc.net/maddison.

Видно, что графики, отражающие демографическую и экономическую динамику, могут существенно отличаться от страны к стране в своих деталях. Однако для развитых стран обращает на себя внимание эмпирическая закономерность, что на первом этапе модернизации численность населения и ВВП на душу населения, как правило, растут быстро и согласованно, затем ВВП на душу населения начинает обгонять рост населения, далее рост населения начинает тормозиться, а вслед за ним начинает тормозиться и ВВП на душу населения. То есть возникает определенный цикл последовательного ускорения темпов роста демографических и экономических характеристик, а затем их последовательного замедления. В развивающихся странах, как правило, указанная закономерность отслеживается хуже, по-видимому, в силу нестабильности их демографического и экономического развития, а также вследствие того, что эти страны

находятся на начальных этапах модернизации (то есть пока еще только в начале описанного выше цикла).

Развитие теории модернизации

В настоящее время термин «модернизация», как правило, рассматривается в нескольких аспектах. Ведущий эксперт в области социальной модернизации С. Н. Гавров выделяет следующие определения модернизации. Во-первых, исторически модернизация может рассматриваться как внутреннее развитие государств Западной Европы и Северной Америки (Гавров 2009). Такую модернизацию часто именуют первичной или органической. Во-вторых – как развитие государств, не относящихся к Западной Европе и Северной Америке, но стремящихся заимствовать и внедрить западные технологии, догнать новаторов (вторичная, неорганическая, догоняющая модернизация). Также модернизация может пониматься как постоянный процесс развития, характеризующийся периодическими реформами, реорганизацией, реконструкцией и инновациями.

В классических работах началом модернизации считаются промышленная революция, начавшаяся в Великобритании, Великая французская революция, европейские революции 1848–1849 гг., затронувшие Францию, Австрийскую империю, Германию, итальянские государства, Польшу, Валахию и Молдавию, то есть процессы перехода от аграрного (традиционного) общества к индустриальному. Эксперт по вопросам модернизации В. Мур определяет ее как тип социальной организации общества «продвинутых» стран Запада, для которого свойственны стремительное экономическое развитие и политическая стабильность (Кравченко 2002: 16–17).

Фердинанд Тённис, один из основателей немецкой профессиональной социологии, определил основополагающие характеристики традиционного и индустриального обществ. По утверждению Тённиса, традиционное («естественное») общество – это общество, во главе которого лежат семейные отношения, а все социальные связи основаны на родстве. Индустриальное общество («рациональная воля») Тённис определяет как общество, основанное на экономических и безличных отношениях, как общество, в котором преобладают деловая организация, труд и потребление (Ионин 1979).

Томас Мальтус в свое время обратил внимание на демографические аспекты модернизации и подчеркнул, что человек в значительной степени зависит от имеющихся природных ресурсов. Мальтус показал, что, как правило, численность населения растет быстрее, чем необходимые людям ресурсы, что многократно приводило к голоду, эпидемиям и войнам в доиндустриальных обществах (Мальтус 1993).

Одним из основоположников теории модернизации является Карл Маркс, который во главу модернистского (капиталистического) общества

ставил частную собственность и капитал. Маркс утверждал, что государства-новаторы являются примером развития для других стран, поскольку все страны в ходе модернизации проходят одни и те же стадии, несмотря на культурные различия (Маркс 1985).

Со временем социологи пришли к выводу, что решающим фактором модернизации является культурная и ментальная трансформация, то есть замена традиционных ценностей в общественном сознании. М. Вебер, например, рассматривал рациональность управления и отрицание религиозного сознания как основные условия модернизации (Вебер 1990). В отличие от К. Маркса, Вебер был уверен в том, что капитализм, зародившийся в Европе, не всегда может быть воспринят и внедрен в других странах в силу особенностей их развития и устоявшейся идеологии. Дэниэл Лернер полагал, что модернизация представляет собой некое состояние сознания человека, в котором преобладают тенденция к экономическому росту, способность приспосабливаться к изменениям, а также уверенность в прогрессе (Lerner 1958). Марион Леви определял модернизированное общество как общество, способное применять источники энергии и машины с целью увеличения производительности труда (Levy 1966; 1967). Необходимость изменения стиля мышления для осуществления модернизации отмечал и Георг Зиммель. Социолог акцентировался на вопросе «абстрактизации», в том числе продемонстрировал, что отношения в модернизирующемся мире являются более абстрактными и формальными (Громов и др. 1996).

Следует также отметить последователя М. Вебера – Толкотта Парсонса, основоположника структурного функционализма, который утверждал, что человеческое общество подобно биологическому организму, в котором все части взаимосвязаны и взаимозависимы. В обществе каждый социальный институт наделяется определенными функциями, что способствует стабильности («гомеостатическому равновесию»). При изменении в одном из институтов перемены заметны во всех остальных. Парсонс и Шилз определили « типовые переменные », характеризующие модернизированное общество, среди которых аффективная нейтральность, универсализм, индивидуалистская ориентация, достижение и функциональная специализация (Парсонс 1998: 210, 227). Теория Парсонса оказала большое влияние на развитие теории модернизации в целом.

В процессе модернизации трансформируется не только общество, но и модель личности. Происходит переход от ценностей коллективизма к ценностям индивидуализма, провозглашаются равные гражданские права, возможность социального выбора. Эмиль Дюркгейм рассматривал модернизацию как переход в систему общественных отношений, базирующихся на различии индивидов и, соответственно, на функциональном разделении труда (Дюркгейм 1991).

Макс Вебер, Эмиль Дюркгейм, Георг Зиммель, Карл Маркс, Фердинанд Тённис и другие социологи заложили основы классической теории модернизации. Современная теория модернизации возникла в середине XX в., в период ослабления и разрушения европейских колониальных империй и образования новых независимых стран. Постепенно произошла переоценка роли государств Запада в модернизации. Сложившиеся теории, утверждающие модель западного общества как единственно возможную, потеряли свою актуальность. Если ранее национальные и культурные особенности стран считались помехой модернизации и искоренялись, то в настоящее время рассматриваются как преимущество. Более того, автор мир-системного анализа Иммануил Валлерстайн доказал, что в силу деления мира на доминирующий центр, полупериферию и периферию модернизирующаяся страна практически не имеет возможности вырваться вперед и превратиться в высокоразвитую, поскольку находится в зависимости от центра (Wallerstein 2011). Нередко в процессе модернизации возникают так называемые «ловушки развития», тормозящие преобразование общества (Гринин 2010; Гринин, Коротаев 2012). Часто искоренение традиций и смена жизненных укладов при попытке модернизации по западному пути приводят к острым общественным конфликтам, экономическим, политическим и социальным кризисам (Grinin 2012). При этом модернизация в некотором смысле способствует укреплению традиций. Такой позиции придерживаются многие ученые современности, включая создателя концепции этнокультурного разделения цивилизаций Сэмюэла Хантингтона (2003), исследователя позднего модерна Зигмунта Баумана (2004), эксперта в области исследований цивилизаций, революций и модернизации Шмуэля Эйзенштадта (2010), исследователя постиндустриального общества Алена Турена (2014), одного из самых влиятельных социологов XX в. Роберта Мертона (Ермаханова 2005) и др. Ярким и успешным примером модернизации на основе национальной культуры является Япония. Еще одной незападной моделью модернизации можно назвать социализм, имевший место в Советском Союзе (Гринин 2010), некоторых государствах Восточной Европы и Китае. Данная модель развития не смогла конкурировать с капитализмом и была разрушена. Снова появилась уверенность в том, что капитализм непобедим и является единственным возможным способом модернизации (Fukuyama 1992). Однако в настоящее время во многих странах модернизация рассматривается как синтез передовых технологий (в том числе западных) и исторических традиций.

В свете возникновения большого количества экологических проблем активное развитие получила теория экологической модернизации, основоположниками которой являются Йозеф Хубер и Артур Мол (Mol 1992; 2000; Huber 1991). Авторы считали, что модернизация должна проводиться посредством внедрения более совершенных технологий, благодаря ко-

торым экологии в ходе производственной деятельности наносится меньший урон.

Некоторые страны в настоящий момент вступают в эпоху постмодернизации, в которой главенствующая роль отдана личности человека, ее многообразию и самовыражению (Штомпка 1996).

С появлением исторических баз данных и развитием количественных методов стало возможным изучение исторических закономерностей с помощью математических моделей. Благодаря моделям появляется возможность восстанавливать и исследовать исторические процессы, анализировать сложившиеся пути развития, а также их альтернативные варианты, определять последствия проведенных реформ и т. д.

Наибольшее развитие получили математические модели, описывающие демографические процессы. В ряде моделей исследователи ограничивались лишь экстраполяцией статистических рядов, на основе которых предсказывался либо слишком большой рост численности населения, либо ее стремительное убывание (von Foerster *et al.* 1960; Malthus 1798). Причиной таких прогнозов служило отсутствие обратных связей в моделях и, соответственно, равновесных состояний (Turchin 2003). Ярким примером является широко известная мальтузианская модель роста, созданная английским демографом Томасом Мальтусом. Модель предсказывает численность населения (N) на основе текущей численности населения (N_0), темпов прироста населения (r) и временной переменной (t), характеризующей интервал времени между текущим моментом и моментом в будущем (Malthus 1798):

$$N(t) = N_0 e^{rt}. \quad (1)$$

Мальтузианская модель была доработана Пьером Ферхюльстом (Verhulst 1838), который добавил в модель обратную связь – слагаемое, отвечающее за ограничение роста численности населения, зависящее от емкости среды (K):

$$N(t) = \frac{kN_0 e^{rt}}{K + N_0 (e^{rt} - 1)}. \quad (2)$$

Согласно модели, при наличии необходимых ресурсов численность населения растет по экспоненциальному закону, но при достижении емкости среды сокращается потребление на душу населения, что приводит к войнам и эпидемиям, которые в свою очередь значительно сокращают численность населения. Таким образом, подушевое потребление увеличивается и снова начинается рост населения.

Колебания численности населения наблюдались во многих регионах мира, включая Китай, Западную Европу, Россию, и исследовались большим количеством ученых (Zhao, Xie 1988; Lieberman 2003; Lewit 1991; Нефедов 2002). Опираясь на теорию Мальтуса и используя количествен-

ные методы, Джек Голдстоун исследовал вопрос о том, как рост численности населения влияет на социально-политическую нестабильность и каковы причины возникновения революций (Goldstone 2002). Он также разработал структурно-демографическую теорию, на основе которой Петр Турчин построил математическую теорию крушения государства (Turchin, Korotayev 2006).

Еще одним классом моделей являются модели, используемые для прогнозирования численности взаимозависимых популяций, в которых на численность популяции влияют не только внутренние процессы и ограничения, но и соседствующие популяции. Примером является математическая модель Лотки – Вольтерра, применяемая в системах «хищник – жертва» (Турчин 2008), чаще всего в биологии и экологии. Переменные модели – численность хищников (y), численность жертв (x), время (t):

$$\frac{dx}{dt} = (\alpha - \beta y)x; \quad (3)$$

$$\frac{dy}{dt} = (-\gamma + \delta x)y, \quad (4)$$

где $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – коэффициенты, характеризующие взаимодействия между популяциями. Модель демонстрирует периодический рост и падение численности популяций.

Если рассматривать численность населения на большом временном интервале, можно сделать вывод о том, что она подчинена гиперболическому закону. Одними из первых с помощью математической модели это показали Хайнц фон Ферстер, Патриция Мора и Лоуренс Эмиот (von Foerster *et al.* 1960):

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

где C и t_0 – константы (t_0 соответствует 13 ноября 2026 г.).

Существенный вклад в развитие данной теории внес Сергей Капица, разработавший математическую модель гиперболического роста численности населения Земли (Капица 1999). Он утверждал, что скорость роста численности населения пропорциональна квадрату ее численности:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{N^2}{C} = \frac{C}{(t_0 - t)^2}, \quad (6)$$

где C – константа. В 60-х гг. XX в. гиперболический закон перестал работать, темпы роста населения уменьшились, благодаря развитию индустриального общества произошел демографический переход, для описания которого Капица добавил в модель характерное время жизни человека $\tau = 42$ года:

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

С помощью данной модели Капица спрогнозировал стабилизацию численности населения на уровне 12–13 млрд человек к 2100–2150 гг.

Альтернативный подход использовался в опубликованном в 1972 г. докладе Римскому клубу «Пределы роста», в котором авторы с помощью математической модели рассчитали сценарии увеличения численности населения и исчерпания природных ресурсов (Медоуз и др. 1991). В основе модели, состоящей из почти двух десятков нелинейных дифференциальных уравнений, лежат следующие переменные: невозобновляемые ресурсы, промышленный капитал, сельскохозяйственный капитал, капитал сферы услуг, свободная земля, сельскохозяйственные угодья, городская и промышленная земля, неудаляемые загрязнители, народонаселение. Основным выводом моделирования стало утверждение о том, что в случае сохранения сложившихся на тот момент тенденций пределы роста будут достигнуты за один век, после чего неминуемо резкое и значительное сокращение численности населения. Модель несколько раз пересчитывалась с учетом новых данных, а также экономических, политических, социальных, демографических и других изменений, произошедших во многих странах (Медоуз и др. 2007; Randers 2012), но результаты остались прежними. Если не изменить объемы потребления природных ресурсов сейчас, то уже в ближайшее время возникнут серьезные глобальные конфликты, что станет причиной сокращения мировой численности населения. Михайло Месарович и Эдуард Пестель с помощью разработанной ими модели, основанной на теории многоуровневых иерархических систем, также предсказали серию региональных катастроф (Mesarovic, Pestel 1974).

Наряду с демографическими моделями широкое распространение получили экономические модели исторического развития, в которых большое внимание уделено моделированию мирового валового продукта (ВВП). Для расчета объемов производства (Q) часто используется функция Кобба – Дугласа, зависящая от труда (L) и капитала (K), и различные ее аналоги (Cobb, Douglas 1928):

$$Q = AL^\alpha K^\beta, \quad (8)$$

где A – коэффициент, характеризующий технический прогресс, α и β – коэффициенты эластичности.

Основываясь на функции Кобба – Дугласа и постулатах Мальтуса, Майкл Кремер разработал модель для расчета производимого населением продукта (Kremer 1993; Jones 1992):

$$G = TN^a V^{1-a}, \quad (9)$$

где G – производимый продукт; T – уровень технологий ($\frac{dT}{dt} = bN^\psi T^\varphi$); V – используемые земельные ресурсы; $0 < \alpha < 1$ – параметр; b – средняя продуктивность работы одного изобретателя; ψ, φ – параметры.

Сергей Махов исследовал макромоделю мировой динамики и устойчивого развития индустриального и постиндустриального обществ, включающую две переменные: технологии T и ресурсы R (Махов 2005):

$$\frac{dR}{dt} = -\lambda R^\alpha T^b; \quad (10)$$

$$\frac{dT}{dt} = \sigma R^{\alpha m} T^d - \mu T, \quad (11)$$

где λ, σ, μ – параметры, а численность населения считается пропорциональной T . С помощью модели несложно доказать, что только при открытии новых ресурсов можно говорить об устойчивом развитии.

Коллективом ученых (Коротаев и др. 2005) также была разработана математическая модель роста населения Земли, экономики, технологии и образования (позже усовершенствованная), включающая в себя три нелинейных дифференциальных уравнения для описания численности населения (N), производительности труда (T) и грамотности (L) (Там же):

$$\frac{dN}{dt} = aNS(1-L); \quad (12)$$

$$\frac{dS}{dt} = bNS; \quad (13)$$

$$\frac{dL}{dt} = cLS(1-L); \quad (14)$$

$$G = N(S+m), \quad (15)$$

где $S = T - m$; G – мировой ВВП; a, b, c, m – константы.

Наряду с моделями глобального развития имеется также большое количество работ, посвященных более узкому кругу проблем. Например, нобелевский лауреат Роберт Фогель применял математические модели для изучения влияния железнодорожного строительства на экономический рост США в XIX в. (Fogel 1964), а российский историк И. Д. Ковальченко на основе статистических методов разработал концепцию аграрной эволюции России XIX в. (Ковальченко 2004).

В настоящей работе математические методы будут использованы для моделирования процесса модернизации в различных странах.

Модель модернизации

Представляется, что циклы последовательного ускорения темпов роста демографических и экономических характеристик, а затем их последова-

тельного замедления отражают общую логику процесса модернизации, и их можно формализовать в виде математической модели. Прототип модели изложен в работах (Садовничий и др. 2014; Малков 2015). Суть модели в следующем.

Модернизация рассматривается как процесс постепенной трансформации традиционного общества под влиянием возникшего в нем инновационного сектора в соответствии с логикой, изложенной ниже (см. рис. 3).

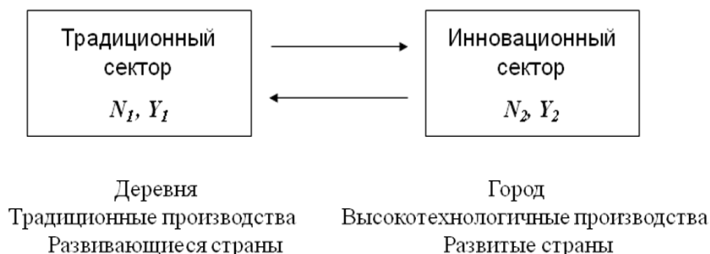


Рис. 3. Схема взаимодействия традиционного и инновационного секторов общества в процессе модернизации (N – численность населения, Y – уровень производства)

Первоначально общество, которому предстоит пройти путь модернизации, является традиционным. Это означает, что его экономическую основу составляет сельское хозяйство, в котором используются в основном ручной труд и традиционные технологии, подавляющая часть населения живет в сельской местности. Такое общество в силу ограниченности ресурсной базы оказывается в мальтузианской ловушке, в среднем численность населения находится на уровне демографической емкости территории и практически не растет (Мальтус 1993).

Суть модернизации заключается в том, что в указанном традиционном обществе возникает инновационный сектор, в котором начинают использоваться машинный труд и высокопроизводительные технологии. Причины возникновения и развития инновационного сектора могут быть как внутренними (примером этому является модернизация в Англии начиная с XVI в.), так и внешними, обусловленными влиянием более развитых стран. В любом случае центрами развития инновационного сектора экономики являются промышленные поселки и города, куда начинает мигрировать избыточное население из сельской местности, обеспечивая инновационный сектор дешевой рабочей силой. Причина миграции заключается в том, что в силу более высокой производительности труда в инновационном секторе уровень жизни его работников превышает таковой в традиционном секторе. Вследствие повышения уровня жизни падает детская смертность, демографическое равновесие нарушается, прирост населения становится положительным, начинается демографический рост.

Если этот рост поддерживается опережающим ростом производительности труда, то он переходит в демографический взрыв. Это первая, неустойчивая фаза модернизации, для которой характерно возникновение диспропорций (например, формирование «молодежного бугра» [Коротаев и др. 2012]), возможны откаты назад, социальная нестабильность, политические кризисы. На этой фазе положительные обратные связи преобладают над отрицательными, доля инновационного сектора экономики быстро растет.

Вторая фаза модернизации начинается, когда большая часть населения переезжает жить из сельской местности в города, а само сельскохозяйственное производство становится все более высокотехнологичным и переходит из традиционного сектора в инновационный. В таком обществе уровень материального благосостояния растет, но при этом изменяется модель семьи: она трансформируется из многодетной в малодетную. Рождаемость снижается до уровня смертности, вследствие чего происходит стабилизация численности населения. На этой фазе в демографии преобладающими становятся отрицательные обратные связи, общество становится более стабильным, более старым, обремененным грузом новых проблем: если раньше проблемой был очень быстрый рост населения, то сейчас проблемой становятся прекращение этого роста и стремительное старение населения.

Базовая математическая модель, описывающая изложенную выше логику процесса модернизации, имеет следующий вид:

$$\frac{dN_1}{dt} = (\text{воспроизводство } N_1) - (\text{миграция в города}) \approx a_1(t)N_1 - b(t)N_1N_2, \quad (16)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = (\text{воспроизводство } N_2) + (\text{миграция в города}) \approx a_2(t)N_2 + b(t)N_1N_2, \quad (17)$$

$$y = (\text{ВВП}) / (\text{численность населения}) = \frac{Y}{N_1 + N_2}, \quad (18)$$

где N_1 – численность населения, включенного в традиционный сектор экономики; N_2 – численность населения, включенного в инновационный сектор экономики; a_1 , a_2 – коэффициенты воспроизводства групп населения N_1 и N_2 , зависящие от стадии модернизационного процесса; b – коэффициент миграции, зависящий от стадии модернизационного процесса; Y – производимый в обществе валовой внутренний продукт (ВВП); y – производство ВВП на душу населения. Для оценки величины производимого ВВП может быть использовано выражение:

$$Y = Y_1 + Y_2 = y_1(t)N_1 + y_2(t)N_2, \quad (19)$$

где Y_1 и Y_2 – ВВП, производимый в традиционном и инновационном секторе соответственно; $y_1(t)$ и $y_2(t)$ – ВВП на душу населения, производимый в традиционном и инновационном секторе соответственно ($y_1(t) < y_2(t)$).

Соотношение величин $y_1(t)$ и $y_2(t)$ в процессе модернизации изменяется. Изменение этого соотношения может быть охарактеризовано функцией $g(t)$:

$$g(t) = (y_2(t) - y_1(t))/y_1(t), \quad (20)$$

где время t отсчитывается от начала процесса модернизации.

В процессе модернизации величина $g(t)$ поступательно растет от нуля до больших величин (однако этот рост в конце процесса модернизации замедляется, поскольку отдача от внедряемых технологий постепенно приходит в насыщение). Для развитых стран рост величины $g(t)$ определяется логикой развития научной сферы и скоростью внедрения новых технологий в производство. Для развивающихся стран рост величины $g(t)$ определяется в основном диффузией инноваций из развитых стран.

Уравнения (16)–(20) представляют собой базовую модель модернизации. Для дальнейшей ее конкретизации необходимо доопределить вид функций $a_1(t)$, $a_2(t)$, $b(t)$, $y_1(t)$, $g(t)$, входящих в эти уравнения в качестве изменяемых во времени коэффициентов. Поскольку целью данного исследования является попытка на основе эмпирических данных создать *общую* модель процессов модернизации, то желательно, чтобы указанные коэффициенты были не функциями времени t , а функциями переменных модели N_1 и N_2 , то есть чтобы система уравнений была автономной¹. С этой точки зрения целесообразно описать изменение коэффициентов модели в зависимости от изменения величины N_2/N_1 , характеризующей соотношение инновационного и традиционного секторов в обществе. Рассмотрим последовательно каждый из указанных коэффициентов.

Коэффициент демографического воспроизводства a_1 в ходе процесса модернизации растет от нуля до некоторого постоянного значения (прежде всего вследствие снижения детской смертности в сельской местности). Коэффициент демографического воспроизводства a_2 в ходе процесса модернизации постепенно снижается до нуля (вследствие снижения рождаемости в городской местности). Поскольку в рамках модели изменение a_1 и a_2 зависит от стадии, на которой находится модернизация общества (которая в свою очередь характеризуется значением величины N_2/N_1 , отражающим степень вовлеченности населения в инновационный сектор), то коэффициенты a_1 и a_2 могут быть представлены как функции величины N_2/N_1 , например, в виде:

$$a_1 = \frac{a_{11} \frac{N_2}{N_1}}{\frac{N_2}{N_1} + a_{12}}, \quad (21)$$

¹ Автономная система дифференциальных уравнений – частный случай, когда аргумент t не входит явным образом в функции, задающие систему.

$$a_2 = \frac{a_{21}}{\frac{N_2}{N_1} + a_{22}}, \quad (22)$$

где a_{ij} – параметры, учитывающие специфику демографических процессов в рассматриваемом обществе.

Типовой вид зависимостей a_1 и a_2 , соответствующий (21) и (22), представлен на рис. 4.

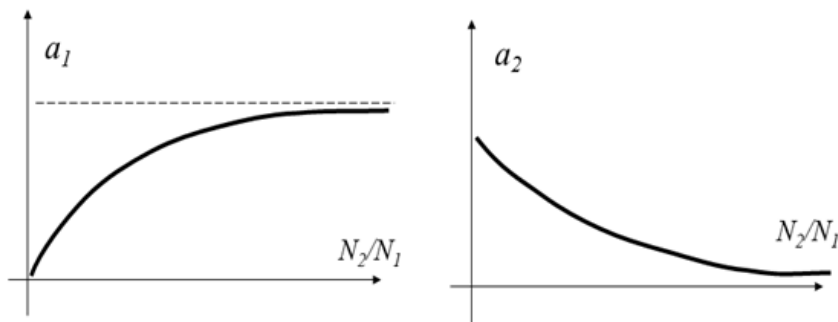


Рис. 4. Типовой вид зависимостей a_1 и a_2 , характеризующих воспроизводство населения в традиционном и инновационном секторах общества в ходе модернизации

Величина коэффициента миграции b зависит от того, насколько сильно отличаются величины y_1 и y_2 в инновационном и в традиционном секторах, насколько привлекательнее инновационный сектор по отношению к традиционному. В простейшем случае примем, что значение b прямо пропорционально значению g , то есть чем сильнее значение y_1 превышает значение y_2 , тем интенсивнее миграционный поток из традиционного сектора в инновационный:

$$b = b_0 \cdot g, \quad (23)$$

где b_0 – коэффициент пропорциональности.

При этом величина g в ходе процесса модернизации растет. Будем в рамках модели считать, что g растет от нуля до некоторого постоянного значения (поскольку отдача от внедряемых технологий постепенно приходит в насыщение):

$$g = \frac{g_0 \frac{N_2}{N_1}}{\frac{N_2}{N_1} + k}, \quad (24)$$

где g и k – коэффициенты. Типовой вид зависимости $g(N_2/N_1)$ аналогичен виду зависимости $a_1(N_2/N_1)$ (см. рис. 4).

В соответствии с (19) ВВП рассматриваемой страны с учетом обоих секторов описывается выражением:

$$Y = Y_1 + Y_2 = y_1 N_1 + y_2 N_2 = y_1 (N_1 + N_2(g+1)). \quad (25)$$

Население страны равно:

$$N = N_1 + N_2. \quad (26)$$

Уравнения (16)–(26) представляют собой модель модернизации, где все величины являются функциями от N_2/N_1 .

Необходимо отметить, что, хотя обоснование модели проводилось на примере, когда под миграцией понимался переезд сельских жителей из деревень в города, реально миграции существенно шире. Например, миграцией из традиционного сектора в инновационный может быть переход сельского населения от традиционных методов обработки земли с использованием в основном ручного труда к фермерскому хозяйству, основанному на использовании современной техники.

Апробация модели

Работоспособность модели (16)–(26) необходимо проверить на реальных данных мировой статистики. Модель была верифицирована на статистических данных следующих стран: Соединенные Штаты Америки, Канада, Великобритания, Франция, Германия, Испания, Австрия, Италия, Бельгия, Бразилия, Япония, Китай, Турция, Египет, Иран, Индия, Индонезия. Страны выбирались таким образом, чтобы в их число вошли представители с различным уровнем развития (развитые и развивающиеся страны), а также страны из различных регионов мира (Северная Америка, Южная Америка, Европа, Азия, Африка).

Одной из основных задач являлось определение параметров модели a_{11} , a_{12} , a_{21} , a_{22} , g_0 , b_0 , k , y_1 , N_{10} , N_{20} на основе имеющихся статистических данных (в рамках данной работы было принято допущение, что y_1 является постоянной величиной; N_{10} и N_{20} – начальные значения N_1 и N_2). Эмпирическими данными для идентификации указанных параметров послужили статистические ряды численности населения и ВВП вышеперечисленных стран за период 1500–2016 гг. Данные были собраны из двух источников:

- историческая база данных, созданная Ангусом Мэддисоном (Maddison 2010);

- Всемирный банк (предоставляющий данные начиная с 1960 г.) (The World Bank n. d.).

Для удобства расчетов обе базы данных были объединены в одну таблицу. Данные были выражены в относительных единицах, где единица – значение соответствующего показателя (численности населения, ВВП)

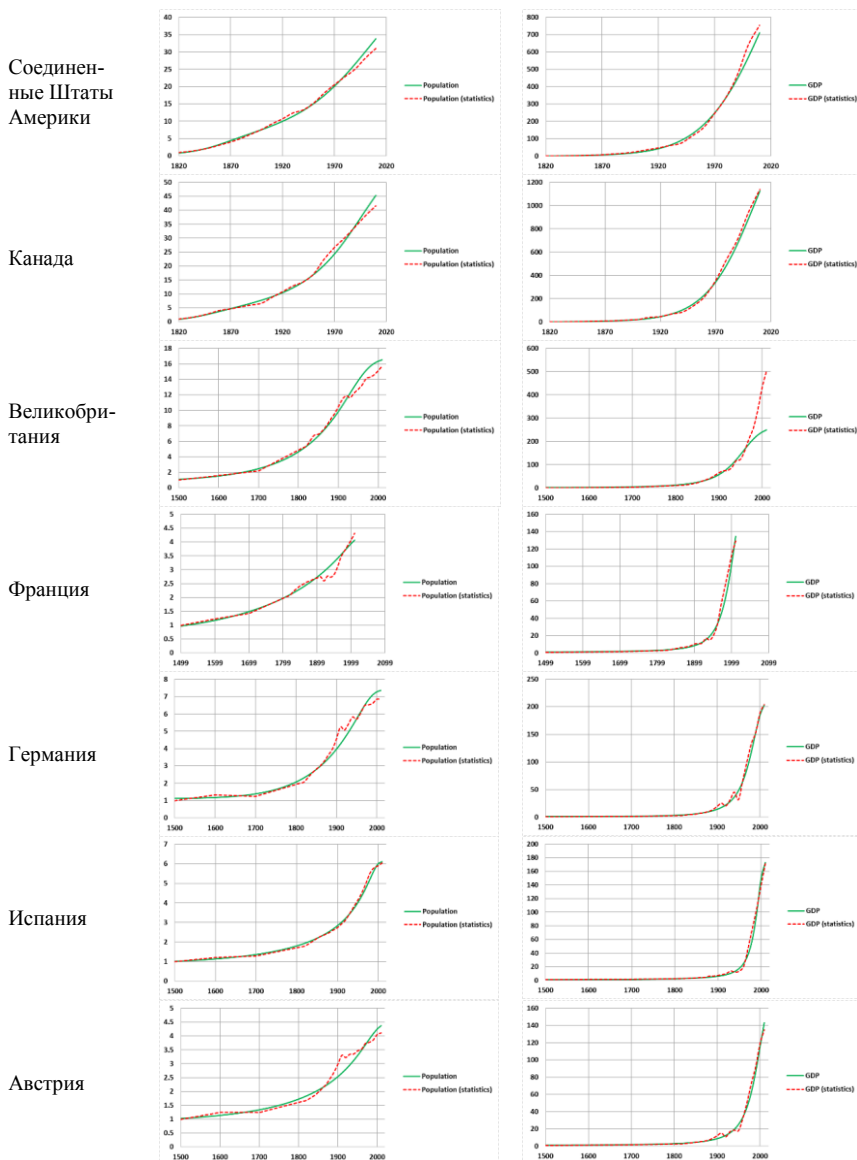
в начальном году расчета. Вычисления по модели производились начиная либо с 1500 г., либо с 1820 г., в зависимости от конкретной страны.

Для идентификации параметров использовался специально разработанный программный комплекс, в котором рассчитывается квадратичная функция невязок, являющаяся суммарным отклонением теоретических рядов значений численности населения и ВВП от их реальных статистических значений на интервале 1500–2016 гг. Для каждой страны находится такой набор параметров, при подстановке которого в модель значение функции невязок минимально. Многопараметрическая задача поиска минимума решается методом случайного спуска, реализованного в программном комплексе. Более подробно с данным инструментом можно ознакомиться в работе (Максимов, Филипповская 1982). В результате процедуры идентификации были определены параметры для каждой из стран (см. табл. 1).

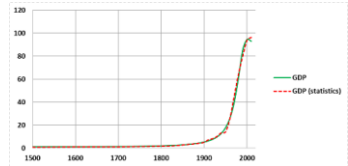
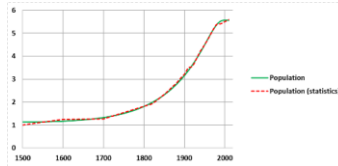
Табл. 1. Параметры модели, полученные в результате процедуры идентификации с использованием статистических данных для ряда стран

	a_{11}	a_{22}	a_{12}	g_0	b_0	y_1	a_{21}	k
США	0.09	0.65	-0.03	31.34	0.0003	0.94	0.77	0.03
Канада	0.11	0.88	-0.01	30.90	0.0004	0.96	0.65	0.00
Великобритания	0.11	0.87	0.15	14.29	0.0022	1.03	0.11	0.24
Франция	0.04	1.37	0.02	46.13	0.0032	1.05	0.04	0.44
Германия	0.09	0.8	0.18	24.35	0.0049	1.14	0.19	1.35
Испания	0.29	1.15	0.82	22.40	0.0123	1.19	0.05	1.02
Австрия	0.12	0.83	0.37	34.47	0.0058	1.10	0.07	0.78
Италия	0.08	0.93	0.14	16.11	0.0150	0.98	0.15	1.63
Бельгия	0.05	0.96	0.01	30.54	0.0021	1.11	0.17	1.01
Бразилия	0.92	0.77	0.46	13.18	0.0016	1.03	0.23	0.10
Япония	0.29	1.20	0.22	46.50	0.0060	1.02	0.00	0.18
Китай	0.08	1.15	0.03	10.23	0.0752	0.86	0.58	1.25
Турция	1.05	1.16	0.72	10.01	0.0408	1.08	0.01	0.04
Египет	0.33	1.25	0.04	24.77	0.0030	1.01	0.12	0.02
Иран	1.04	1.07	0.77	10.78	0.0241	0.94	0.04	0.02
Индия	0.93	1.43	0.65	4.97	0.0596	1.00	0.00	0.12
Индонезия	0.21	1.61	0.02	22.26	0.0058	0.99	0.12	0.18

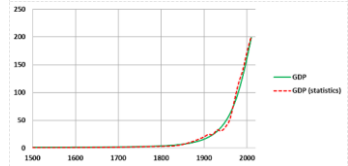
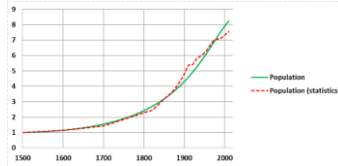
Ниже на рис. 5 представлено сопоставление статистических и расчетных данных, полученных путем подстановки в модель идентифицированных параметров для каждой из перечисленных выше стран.



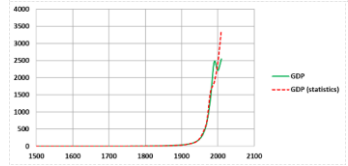
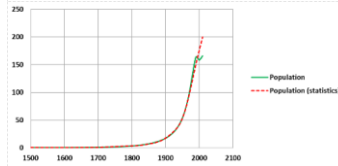
Италия



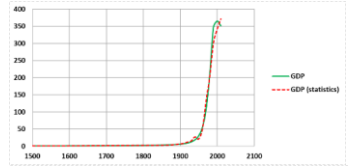
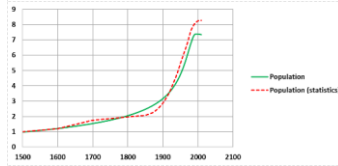
Бельгия



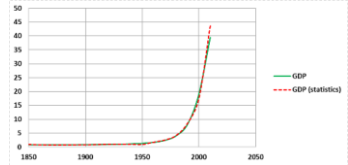
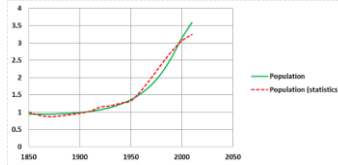
Бразилия



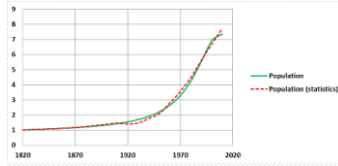
Япония



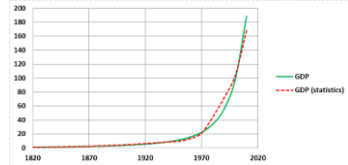
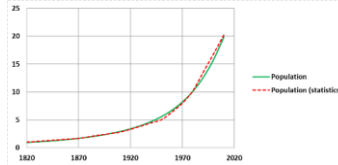
Китай



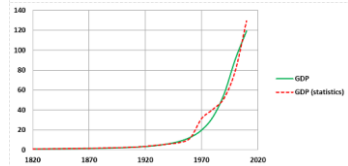
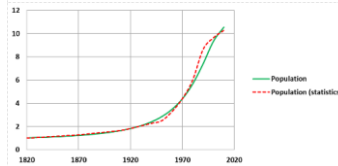
Турция



Египет



Иран



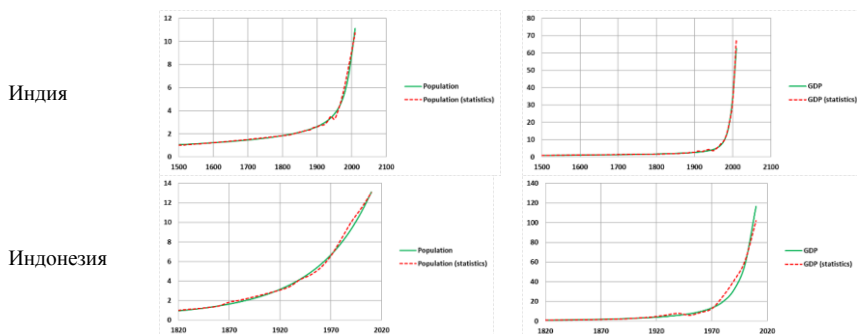


Рис. 5. Сопоставление расчетных (сплошная линия) и статистических данных (штриховая линия), отражающих динамику населения и ВВП в рассмотренных странах

Видно, что, несмотря на свою простоту, модель хорошо описывает долгосрочную демографическую и экономическую динамику в различных странах мира (как развитых, так и развивающихся) в период глобальных перемен. Отклонения расчетных кривых от статистических данных, как правило, наблюдаются в периоды войн и экономических кризисов, которые не учитываются моделью. Обращает на себя внимание расхождение расчетных и эмпирических данных по экономической динамике Великобритании во второй половине XX в. Возможно, это связано с тем, что в данный период значительную часть доходов в этой стране стала приносить не производственная, а финансовая деятельность. Также обращают на себя внимание в табл. 1 отрицательные значения коэффициента a_{12} : таким способом в рамках модели косвенно учитывается то, что в США и Канаде пополнение населения в существенной степени происходило за счет эмигрантов.

Представляет интерес выяснить, какие страны близки друг к другу по значениям параметров (а значит, и протеканию процесса модернизации). Для этого страны были разделены на группы с помощью метода иерархической кластеризации, в ходе которого строится иерархия (дерево) вложенных кластеров. В работе был использован агломеративный метод, в котором новые кластеры образуются посредством объединения более мелких кластеров. На начальном этапе определяются и образуют новый кластер объекты (страны), евклидовы расстояния между которыми в пространстве значений параметров минимальны. Для расчета расстояний между кластерами применяется метод полной связи, в котором расстояние между двумя кластерами считается равным максимальному расстоянию между двумя элементами из разных кластеров. Для наглядного представления результатов

кластеризации построена дендрограмма с использованием библиотек `hcluster` и `matplotlib` языка программирования Python (см. рис. 6).

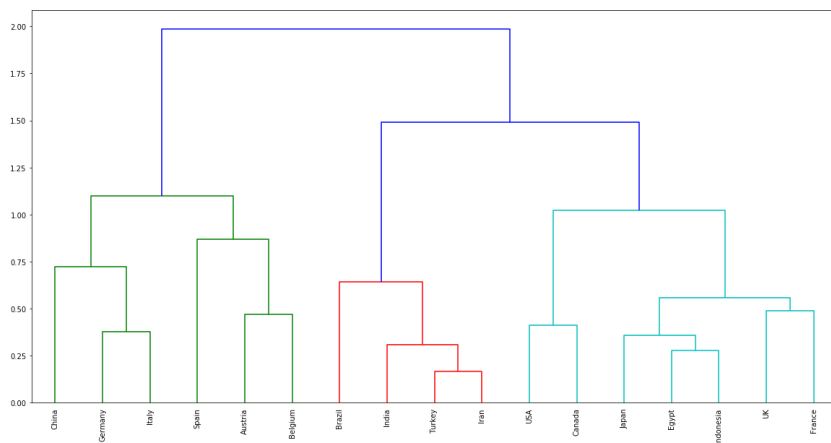


Рис. 6. Дендрограмма, отражающая кластеризацию стран в пространстве значений параметров модели

По результатам кластеризации выделяются следующие кластеры:

А) Соединенные Штаты Америки – Канада;

Б) Австрия – Бельгия – Испания – Италия – Германия – Китай;

В) Бразилия – Индия – Иран – Турция;

Г) Великобритания – Франция;

Д) Египет – Индонезия – Япония.

Для наглядного отображения результатов кластеризации на двумерной плоскости использован метод главных компонент, позволяющий уменьшить размерность данных (в данном случае с восьми до двух) с минимальной потерей количества информации (см. рис. 7). Применен метод PCA библиотеки *sklearn* языка программирования *Python*.

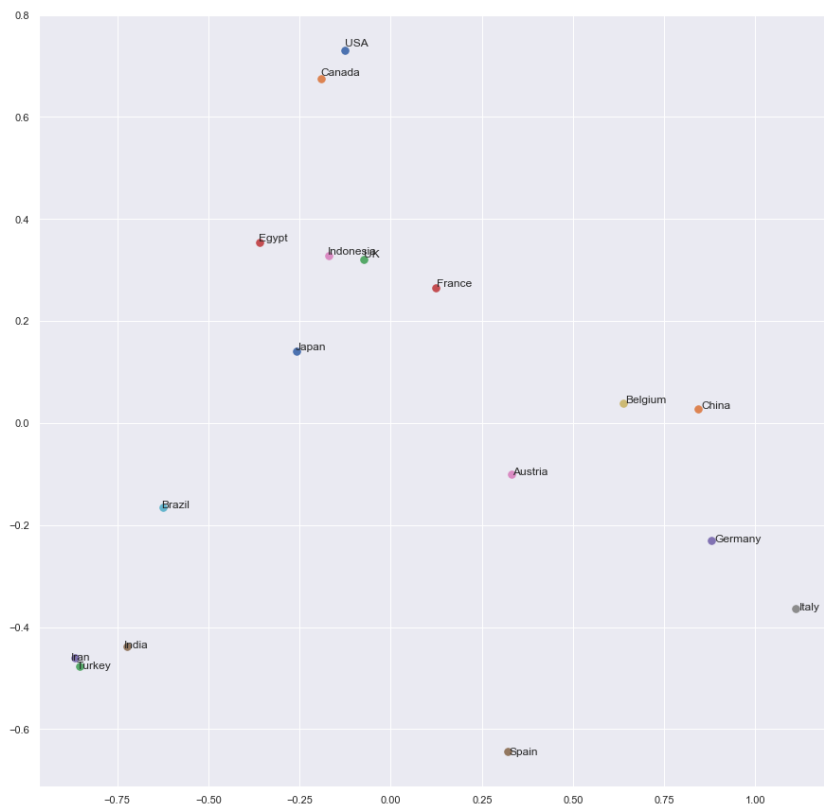


Рис. 7. Кластеризация стран методом PCA

Таким образом, анализ эмпирических данных по долгосрочной демографической и экономической динамике стран мира позволил выделить общие закономерности и формализовать их в виде математической модели. Модель представляет собой автономную систему дифференциальных уравнений, в общем виде описывающую процесс модернизации. Тестирование модели показало ее высокое качество применительно к описанию долгосрочных демографических и экономических изменений в развитых и развивающихся странах в период происходящего в течение последних столетий перехода от аграрного общества к индустриальному и постиндустриальному. В дальнейшем предполагается развитие данной модели и ее использование для анализа и прогноза демографической и экономической динамики в различных странах мира.

Библиография

- Бауман З. 2004.** *Глобализация. Последствия для человека и общества*. М.: Весь мир.
- Вебер М. 1990.** Протестантская этика и дух капитализма. В: Вебер М., *Избр. произведения*, с. 44–271. М.: Прогресс.
- Гавров С. Н. 2009.** Социокультурные процессы модернизации. *Вопросы социальной теории*. Т. III. Вып. 1(3): 359–368.
- Гринин Л. Е. 2010.** Мальтузианско-Марксдова «ловушка» и русские революции. *О причинах Русской революции* / Ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, С. Ю. Малков, с. 198–224. М.: Изд-во ЛКИ.
- Гринин Л. Е., Коротаев А. В. 2012.** *Циклы, кризисы, ловушки современной Мир-Системы. Исследование кондратьевских, жюглярских и вековых циклов, глобальных кризисов, мальтузианских и постмальтузианских ловушек*. М.: Изд-во ЛКИ.
- Громов И. А., Мацкевич А. Ю., Семенов В. А. 1996.** Формальная социология Г. Зиммеля. В: Громов И. А., Мацкевич А. Ю., Семенов В. А., *Западная теоретическая социология*. М.: Ольга. URL: <https://all.alleng.me/d/sociol/soc039.htm>.
- Дюркгейм Э. 1991.** *О разделении общественного труда. Метод социологии*. М.: Наука.
- Ермаханова С. А. 2005.** Теория модернизации: история и современность. *Актуальные проблемы социально-экономического развития: взгляд молодых ученых*: сб. статей, с. 233–247. Новосибирск: Ин-т экономики и ОПП СО РАН.
- Ионин Л. Г. 1979.** Социологическая концепция Фердинанда Тённиса. *История буржуазной социологии XIX – начала XX века* / Ред. И. С. Кон, с. 164–179. М.: Наука.
- Капица С. П. 1999.** *Общая теория роста человечества: Сколько людей жило, живет и будет жить на Земле*. М.: Наука.
- Ковальченко И. Д. 2004.** *Аграрный строй России второй половины XIX – начала XX в.* М.: РОССПЭН.
- Коротаев А. В., Малков С. Ю., Бурова А. Н., Зинькина Ю. В., Ходунов А. С. 2012.** Ловушка на выходе из ловушки. Математическое моделирование социально-политической дестабилизации в странах мир-системной периферии и события Арабской весны 2011 года. *Моделирование и прогнозирование глобального, регионального и национального развития* / Отв. ред. А. А. Акаев, А. В. Коротаев, Г. Г. Малинецкий, С. Ю. Малков, с. 210–276. М.: ЛИБРО-КОМ/URSS.
- Коротаев А. В., Малков А. С., Халтурина Д. А. 2005.** *Математическая модель роста населения Земли, экономики, технологии и образования*. М.: ИПМ им. М. В. Келдыша РАН.
- Кравченко И. И. 2002.** Модернизация сегодняшней России. *Этапистские модели модернизации* / Отв. ред. В. Н. Шевченко, с. 16–17. М.: ИФРАН.
- Максимов Ю. А., Филипповская Е. А. 1982.** *Алгоритмы решения задач нелинейного программирования*. М.: МИФИ.

- Малков С. Ю. 2015.** Современный этап модернизации: на пути к Мир-организму. *Вестник МГУ. Сер. XXVII. Глобалистика и геополитика* 1/2: 88–109.
- Мальтус Т. 1993.** *Опыт о законе народонаселения*. Петрозаводск: Петроком.
- Маркс К. 1985.** *Капитал*. М.: Политиздат.
- Махов С. А. 2005.** *Математическое моделирование мировой динамики и устойчивого развития на примере модели Форрестера*. М.: ИПМ им. М. В. Келдыша РАН.
- Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рэндерс Й., Беренс III В. В. 1991.** *Пределы роста*. М.: Изд-во МГУ.
- Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рэндерс Й. 2007.** *Пределы роста. 30 лет спустя*. М.: Академкнига.
- Нефедов С. А. 2002.** О демографических циклах в истории средневековой Руси. *Клио* 3: 193–203.
- Парсонс Т. 1998.** *Система современных обществ*. М.: Аспект Пресс.
- Садовничий В. А., Акаев А. А., Коротаев А. В., Малков С. Ю. 2014.** *Комплексное моделирование и прогнозирование развития стран БРИКС в контексте мировой динамики*. М.: Наука.
- Турен А. 2014.** Идея революции. *Социологическое обозрение* 13(1): 98–116.
- Турчин П. В. 2008.** Лекция № 14. Популяционная динамика. *Биологическое образование в МФТИ*. URL: <http://bio.fizteh.ru/student/files/biology/biolections/lecture14>.
- Хантингтон С. 2003.** *Столкновение цивилизаций*. М.: АСТ.
- Штомпка П. 1996.** *Социология социальных изменений*. М.: Аспект Пресс.
- Эйзенштадт Ш. 2010.** Срывы модернизации. *Неприкосновенный запас* 6(74). URL: <https://magazines.gorky.media/nz/2010/6/sryvy-modernizaczii.html>.
- Cobb C. W., Douglas P. H. 1928.** A Theory of Production. *The American Economic Review* 18(1): 139–165.
- Foerster H. von, Mora P., Amiot L. 1960.** Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. At This Date Human Population will Approach Infinity if it Grows as it has Grown in the last Two Millennia. *Science* 132: 1291–1295.
- Fogel R. 1964.** *Railroads and American Economic Growth: Essays in Econometric History*. Baltimore: Johns Hopkins Press.
- Fukuyama F. 1992.** *The End of History and the Last Man*. New York: Free Press.
- Goldstone J. 2002.** Population and Security: How Demographic Change Can Lead to Violent Conflict. *Journal of International Affairs* 56: 11–12.
- Grinin L. 2012.** State and Socio-Political Crises in the Process of Modernization. *Clio-dynamics: The Journal of Theoretical and Mathematical History* 3(1): 124–157.
- Huber J. 1991.** Ecological Modernization. A Way from Scarcity, Soberness and Bureaucracy. *Technologie en Milieubeheer* / Ed. by A. Mol, G. Spaargaren, A. Kalpxijk. Den Haag: SDU.

- Jones C. 1992.** *R&D Based Models of Economic Growth*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.
- Kremer M. 1993.** Population Growth and Technological Change: One Million B.C. to 1990. *The Quarterly Journal of Economics* 108: 681–716.
- Lerner D. 1958.** *The Passing of Traditional Society: Modernizing the Middle East*. Glencoe, IL: Free Press.
- Levy M. J. 1966.** *Modernization and the Structure of Societies*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Levy M. J. 1967.** Social Patterns (Structures) and Problems of Modernization *Readings on Social Change* / Ed. by W. Moore, R. M. Cook, pp. 196–201. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Lewit T. 1991.** *Agricultural Productivity in the Roman Economy A. D. 200–400*. Oxford: Tempus Reparatum.
- Lieberman V. 2003.** *Strange Parallels: Southeast Asia in Global Context*, pp. 800–1830. Cambridge: Cambridge University Press.
- Maddison Database 2010.** URL: <https://www.rug.nl/ggdc/historicaldevelopment/maddison/releases/maddison-database-2010>.
- Malthus T. R. 1798.** *An Essay on the Principle of Population*. N. p.: Library of Economics.
- Mesarovic M. D., Pestel E. C. 1974.** *Mankind at the Turning Point*. New York: Reader's Digest Press.
- Mol A. 1992.** Sociology, Environment and Modernity: Ecological Modernization as a Theory of Social Change. *Society and Natural Resources* 5: 323–344.
- Mol A. 2000.** The Environmental Movement in an Era of Ecological Modernisation. *Geoforum* 31: 45–56.
- Randers J. 2012.** *2052: A Global Forecast for the Next Forty Years*. White River Junction, VT : Chelsea Green Publishing Co.
- The World Bank. N.d.** Countries and Economies. URL: <https://data.worldbank.org/country>.
- Turchin P. 2003.** *Complex Population Dynamics: A Theoretical/Empirical Synthesis*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Turchin P., Korotayev A. 2006.** Population Dynamics and Internal Warfare: A Reconsideration. *Social Science and History* 5(2): 121–158.
- Verhulst P. F. 1838.** Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. *Correspondance mathématique et physique* 10: 113–121.
- Wallerstein I. 2011.** *The Modern World-System IV: Centrist Liberalism Triumphant, 1789–1914*. 1st ed. Berkeley; Los Angeles; London: University of California Press. URL: www.jstor.org/stable/10.1525/j.ctt1pnkzv.
- Zhao W., Xie S. Z. 1988.** *Zhongguo ren kou shi: China Population History*. Peking: People's Publisher (in Chinese).