

ИЗ РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

ДОЛГОСРОЧНОЕ ДЕМОГРАФИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

© 2023 г. В. Л. Макаров^{a,*}, А. Р. Бахтизин^{a,**}, Луо Хуа^{b,***}, Ву Цзе^{c,****},
Ву Зили^{d,*****}, М. Ю. Сидоренко^{e,*****}

^aЦентральный экономико-математический институт РАН, Москва, Россия

^bШанхайский институт иностранных языков, Шанхай, КНР

^cGuangzhou Milestone Software Co., Ltd., Гуанчжоу, Китай

Центр экономической и социальной интеграции и прогнозирования Академии общественных наук КНР, Пекин, Китай
Академия социальных наук провинции Гуандун, Гуанчжоу, Китай

^dGuangzhou Milestone Software Co., Ltd., Гуанчжоу, Китай

^eГосударственный университет гуманитарных наук, Москва, Россия

*E-mail: makarov@cemi.rssi.ru

**E-mail: albert.bakhtizin@gmail.com

***E-mail: loha_u@shisu.edu.cn

****E-mail: jw@gzmss.com

*****E-mail: wzl@gzmss.com

*****E-mail: sidorenko@jes.su

Поступила в редакцию 27.07.2022 г.

После доработки 07.09.2022 г.

Принята к публикации 03.10.2022 г.

В работе рассмотрены результаты последних демографических прогнозов от ведущих мировых специализированных центров (Отдел народонаселения ООН, Центр демографии и глобального человеческого капитала имени Витгенштейна, Институт измерения показателей и оценки состояния здоровья), демонстрирующие определённую ангажированность в пользу отдельных стран, а также используемые ими методики расчётов. Во второй части статьи приведено описание построенного китайско-российским коллективом цифрового двойника демографической системы планеты, реализованного в национальном суперкомпьютерном центре КНР. Кроме того, описаны результаты некоторых расчётов, осуществлённых с использованием этого инструмента.

Ключевые слова: демографические прогнозы, агент-ориентированные модели, вычислительные эксперименты.

DOI: 10.31857/S0869587323010048, **EDN:** EMYUIN

Успешное развитие государств во многом определяется количеством и качеством человеческих ресурсов. Поэтому в ряде ключевых стратегических

МАКАРОВ Валерий Леонидович — академик РАН, научный руководитель ЦЭМИ РАН, директор Высшей школы государственного администрирования МГУ им. М.В. Ломоносова. БАХТИЗИН Альберт Рауфович — член-корреспондент РАН, директор ЦЭМИ РАН. ЛУО ХУА — профессор Шанхайского университета иностранных языков. ВУ ЦЗЕ — председатель правления компании Guangzhou Milestone Software Co., Ltd., исследователь Центра экономической и социальной интеграции и прогнозирования АОН КНР. ВУ ЗИЛИ — заместитель председателя правления компании Guangzhou Milestone Software Co., Ltd. СИДОРЕНКО Милана Юрьевна — начальник департамента научных изданий ГАУГН.

документов (стратегии национальной безопасности России, США и других стран, пятилетние планы Китая и т.д.) сохранение населения, уровень его образования, здоровье, продолжительность жизни и прочие социально-демографические показатели обозначаются в качестве целевых.

Краткосрочные и среднесрочные демографические прогнозы нужны в основном для определения потребности в объектах социальной инфраструктуры (детские сады, школы, больницы и т.д.), производства, реализации крупных проектов и здравоохранения. В свою очередь долгосрочные прогнозы применяются при разработке стратегий развития стран, для оценки военных, геополитических и прочих сценариев, состояния

национальной безопасности, а также для долгосрочного планирования пенсионного обеспечения населения. Помимо прогнозов важно иметь инструменты, позволяющие получать оценки изменения численности населения, его половозрастной структуры в результате принятия соответствующих управленческих решений.

Краткосрочное и среднесрочное демографическое прогнозирование не вызывает больших затруднений в методологическом плане, обычно его результаты не сильно расходятся с фактическими значениями. Как правило, для соответствующих расчётов берутся показатели рождаемости, смертности и миграции за последний доступный временной период, которые экстраполируются исходя из предположения об инерционности демографических процессов. Однако в случае серьёзных потрясений — военные действия, эпидемии, стихийные бедствия и т.д. — отклонения от предполагаемой численности населения могут быть значительными.

Гораздо сложнее прогнозировать движение населения на долгосрочную перспективу, к примеру, на протяжении нескольких десятилетий. Именно этой проблеме посвящено наше исследование. Будут проанализированы долгосрочные демографические прогнозы до 2100 г. широко признанных организаций, а также изложены результаты собственных расчётов.

ИЗВЕСТНЫЕ ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ

Наиболее цитируемой организацией, осуществляющей демографические прогнозы, является Отдел народонаселения Департамента по экономическим и социальным вопросам ООН (далее ООН). Последний прогноз был опубликован в июле 2022 г. для 237 стран и территорий, охватывающих население всего мира. Прогноз ООН основывается на предположении о постепенном снижении рождаемости в большинстве рассматриваемых стран и, в частности, формализуется в виде функции, которая представляет собой комбинацию двух логистических функций, зависящих от текущего уровня суммарного коэффициента рождаемости (СКР) для конкретной страны — f_c в период t , а также от набора специфических для каждой страны (c) параметров — $\theta_c = (\Delta_{c1}, \Delta_{c2}, \Delta_{c3}, \Delta_{c4}, d_c)$:

$$g(\theta_c, f_{c,t}) = \frac{d_c}{1 + \exp\left(-\frac{2 \ln(9)}{\Delta_{c3}}(f_{c,t} - \Delta_{c4} - 0.5\Delta_{c3})\right)} + \frac{-d_c}{1 + \exp\left(-\frac{2 \ln(9)}{\Delta_{c1}}(f_{c,t} - \sum_i \Delta_{ci} + 0.5\Delta_{c1})\right)} \quad (1)$$

Каждый из параметров Δ представляет собой диапазон, в пределах которого изменяются темпы снижения рождаемости, рассчитываемые с использованием байесовской иерархической модели, учитывающей не только сложившиеся тренды для конкретной страны, но и связанные с ней тренды других стран. С использованием марковских цепей и метода Монте-Карло генерируется порядка 100 тыс. вариантов изменений СКР, среди которых выбирается медианный в качестве наиболее вероятного сценария. Постпереходная фаза низкой рождаемости моделируется с помощью авторегрессионных моделей, для которых СКР колеблется вокруг значений, обеспечивающих воспроизводство населения (расширенное, простое или суженное) [1].

Здесь будут представлены результаты двух прогнозов — предпоследнего (за 2019 г.) и актуального на текущий момент (за 2022 г.). Разработчики отмечают, что в методологическом плане последний прогноз претерпел существенную модификацию, связанную с изменениями в структуре исходной информации. Ранее для расчётов использовались пятилетние возрастные группы и пятилетние периоды (структура 5×5), но с целью более точного учёта когортных эффектов, оказывающих влияние на демографические процессы, в модели стали применяться однолетние возрастные группы и однолетние периоды (структура 1×1). Специалисты особо подчёркивают, что влияние экономических кризисов, военных конфликтов, стихийных бедствий, эпидемий на показатели рождаемости, смертности и миграции заметнее всего проявляет себя в год возникновения этих событий [2]. Поэтому было принято решение о пересмотре методологии прогнозирования, что потребовало провести полную переоценку базы исторических данных о демографических тенденциях. Были внесены изменения в методику расчётов вероятностных прогнозов СКР для всех стран мира с использованием байесовской иерархической модели [3]. Более подробно процесс подготовки данных для прогноза и оценки тенденций рождаемости, смертности, международной миграции приведены в методических материалах ООН [4, 2].

Другой часто цитируемый демографический прогноз для 201 страны на период до 2100 г. разработала группа Международного института прикладного системного анализа (International Institute for Applied Systems Analysis, далее IIASA) и Центр демографии и глобального человеческого капитала имени Витгенштейна (Wittgenstein Centre for Demography and Global Human Capital). Для соответствующих расчётов использовались методы многомерного статистического анализа и экспертные оценки, позволившие определить тенденции рождаемости по странам, уровень образования, смертности, интенсивность ми-



Рис. 1. Алгоритмическая схема расчёта численности населения в модели IHME

граций и т.д. [5]. В отличие от прогноза ООН, для того чтобы сформулировать предположения об изменениях СКР для различных стран, было опрошено около 200 экспертов (экономистов, демографов, социологов и др.). В данном случае следует иметь в виду, что, с одной стороны, мнения компетентных специалистов могут быть более точными, чем компьютерные расчёты, с другой стороны, в некоторых случаях экспертные оценки существенно различались. Так, предполагаемые значения коэффициентов рождаемости для Индии варьировались от 1.5 до 2.5 к 2030 г. и от 1.1 до 2.5 к 2050 г. [6].

Среди часто цитируемых прогнозов можно выделить результаты, полученные в ходе масштабного исследования, проведённого Институтом измерения показателей и оценки состояния здоровья (Institute for Health Metrics and Evaluation, далее IHME), по расчёту рождаемости, смертности и миграции населения для 195 стран и территорий с 2018 по 2100 г. В отличие от двух предыдущих прогнозов, в этом исследовании рассчитывается и прогнозируется не СКР, а завершённая когортная фертильность в возрасте 50 лет (Completed Cohort Fertility, CCF) — коэффициент, представляющий собой среднее количество детей, рождённых одной женщиной из наблюдаемой возрастной когорты до момента достижения ею возраста 50 лет. Этот показатель более стабилен, поскольку рождаемость в завершённой когорте практически не увеличивается, и на него в меньшей степени оказывают влияние различные факторы, например отложенные рождения. Авторы наглядно показали, что для стран с высоким уровнем рождаемости и СКР, и CCF примерно одинаково стабильны, в то время как

при низком уровне рождаемости CCF менее подвержен флуктуациям, нежели СКР [7].

Для расчёта CCF используется следующая модель, включающая две переменные, которые объясняют более 80% дисперсии по всем странам за 48-летний период:

$$CCF_{l,c} = \beta_0 + \beta_{mn} mn_{l,c} + ns(edu_{l,c}) + \eta_{l,c}, \quad (2)$$

где β_{mn} — коэффициент при факторе, показывающем уровень насыщения потребностей в противозачаточных средствах ($mn_{l,c}$); $ns(edu_{l,c})$ — средний уровень образования женщин, рассчитываемый с помощью кубического сплайна; $\eta_{l,c}$ — остаточный член.

На рисунке 1 приведена укрупнённая концептуальная схема расчёта численности населения для каждой страны. Помимо перечисленных выше, в соответствующем алгоритме учитываются факторы, оказывающие влияние на уровень здоровья, а также на смертность по различным причинам, процесс миграции и соотношение полов при рождении. Каждый из блоков схемы рассчитывается с помощью соответствующих уравнений.

Вместе с тем многие демографы раскритиковали предложенный в IHME подход за упрощённую трактовку таких сложных социальных явлений, как миграция, планирование семьи, репродуктивное поведение и др. Так, известный демограф Т. Сobotка из Венского института демографии совместно с профессором Гонконгского университета науки и технологий С. Гитель-Бастеном, опубликовали исследование “Uncertain population futures: Critical reflections on the IHME Scenarios of future fertility, mortality, migra-

tion and population trends from 2017 to 2100” с подробным разбором недостатков предложенного подхода [8]. Краткий конспект их работы подписали более 170 демографов всего мира, и он был отправлен в журнал “The Lancet”, опубликовавший статью с результатами ИНМЕ. По мнению критиков, серьёзный недостаток этого исследования — игнорирование *индивидуальных характеристик отдельных людей*. В свою очередь руководитель группы ИНМЕ профессор К. Мюррей отверг критику и заявил, что используемая в ООН модель “построена на основе странного набора допущений”, а демографическое сообщество консервативно и не склонно принимать новые идеи.

Интересно, что и те, и другие исследовательские группы указывают на необходимость учёта в моделях *разнородности человеческого социума* для большей реалистичности воспроизводимых процессов. Не умаляя достоинств описанных выше подходов, отметим, что в своей работе мы будем использовать агент-ориентированный подход, который помимо учёта неоднородности индивидуумов, обладает ещё несколькими преимуществами.

1. Агент в рамках модели этого класса может быть не только единицей общества, определяя его динамику своими социальными действиями (вступление в брак, рождение ребёнка, переезд в другой регион или страну и т.д.), но одновременно участником экономических отношений (трудовая деятельность, уплата налогов, совершение покупок и т.д.), а также влиять на экологическую систему (загрязнение окружающей среды и т.п.). Таким образом, возможно одновременное изучение не только демографических процессов, но множества других взаимосвязанных составляющих социо-эколого-экономических систем.

2. За счёт сложного стохастического поведения агентов моделируемая система является эмерджентной и в процессе развития может порождать бифуркации. Причём для этого система необязательно должна быть сложной. Так, даже в очень простых системах, воспроизводящих поведение примитивных существ, могут возникать состояния, когда весь социум по малопонятным причинам вымирает [9]. Иными словами, агентный подход позволяет выявлять момент наступления переходного состояния, которое трудно идентифицировать другими методами (авторегрессионными моделями и т.д.).

3. Поскольку агенты неоднородны и отличаются друг от друга по большому набору характеристик, в том числе и пространственной отдалённости друг от друга, в процессе проведения вычислительных экспериментов можно исследовать эффекты дифференцированного воздействия

только на определённый социум, находящийся на конкретной территории.

В работах [10, 11] мы привели множество аргументов в пользу применения агентного подхода для анализа и прогнозирования демографических систем. На наш взгляд, возрастающая сложность мира и последние глобальные потрясения (пандемия, разрыв производственных цепочек, торговые войны, политические катаклизмы и т.д.), с одной стороны, и колоссальная производительность современных систем — с другой, способствуют ускоренной эволюции методов компьютерного моделирования социальных и экономических процессов, благодаря которым можно оценивать мультипликативные эффекты с прямыми и обратными связями на социально-экономические системы большинства государств. В этой связи мы попробуем использовать агент-ориентированную модель для демографического прогнозирования.

Далее будут рассмотрены важнейшие результаты описанных выше демографических прогнозов, а затем проведено сравнение их с альтернативными расчётами исследователей из КНР.

Результаты расчётов группы ООН. Согласно прогнозу 2019 г. численность населения мира продолжит расти, но уже меньшими, чем ранее темпами. Так, если за период 1950–2020 гг. численность населения Земли выросла более чем в 3 раза, то в соответствии с умеренным вариантом прогноза за больший временной период 2020–2100 гг. она увеличится примерно в 1.4 раза и составит 10875.39 млн человек.

Население 47 наименее развитых в экономическом отношении стран будет самым быстрорастущим и во многих из них удвоится за период 2020–2055 гг., что создаст дополнительные проблемы с обеспечением ограниченными продовольственными и ископаемыми ресурсами. Более половины прогнозируемого прироста населения мира будет сосредоточено в девяти странах: Демократической Республике Конго, Египте, Эфиопии, Индии, Индонезии, Нигерии, Пакистане, Танзании и США.

Практически во всех странах будет наблюдаться старение населения, что увеличит демографическую нагрузку на его трудоспособную часть. Прогнозы также указывают, что к 2050 г. численность лиц старше 65 лет окажется в 2 раза больше, чем детей в возрасте до пяти лет, а также превысит численность молодёжи в возрасте от 15 до 24 лет. На страны Африки к югу от Сахары (или Чёрной Африки, включающей 48 стран) придётся более половины прироста населения мира за период 2020–2050 гг., в то время как население Восточной, Юго-Восточной, Центральной и Южной Азии, Латинской Америки, а также Европы и Северной Америки достигнет своего пика в тече-

ние прогнозируемого периода, а затем будет сокращаться до конца столетия.

В июле 2022 г. группа ООН выпустила обновлённый прогноз, согласно умеренному варианту которого население мира к 2100 г. составит 10 349.32 млн человек. Несмотря на относительно небольшое расхождение с прогнозом от 2019 г., существенные различия получились на уровне отдельных стран, и мы рассмотрим их подробнее дальше. Исследователи особо отметили, что общемировая ожидаемая продолжительность жизни при рождении в 2021 г. снизилась до 71.0 года по сравнению с 72.8 в 2019 г. во многом из-за пандемии коронавирусной инфекции. Кроме того, по этой же причине во всех странах осложнился сбор статистической информации, необходимой для прогнозирования.

Результаты расчётов группы IIASA. В рамках умеренного сценария население планеты будет расти и достигнет 9.8 млрд человек в 2070–2080 гг., после чего начнёт сокращаться до 9.5 млрд к 2100 г. Коррекцию своего прогноза по сравнению с прогнозом 2014 г. авторы IIASA объясняют снижением детской смертности в Африке.

Расчёты показали, что к 2060 г. в 28 странах ЕС будет проживать примерно столько же людей, что и сейчас — около 507 млн человек, зато население стран Ближнего Востока и Северной Африки за тот же период вырастет на 59% и превысит 728 млн. В странах Африки к югу от Сахары к 2060 г. численность населения увеличится более чем в 2 раза — с приблизительно 1 млрд до 2 млрд человек, а в Восточной Азии уменьшится с 1.6 млрд до 1.4 млрд человек, в Южной Азии будет расти и достигнет пика в 2065 г., в частности, население Индии вырастет до 1.71 млрд человек, а Пакистана на 74% (достигнув пика в 2090 г. — 353 млн человек).

Результаты расчётов группы IHME. В отличие от прогноза ООН, расчёты этой группы показали, что после достижения пика в 2064 г. (9732.92 млн человек) население планеты будет сокращаться и к 2100 г. составит 8785.55 млн. В этих условиях некоторые страны будут стараться поддерживать численность своего населения за счёт либеральной миграционной политики. Авторы также отмечают, что гипотеза ООН заключается в том, что в большинстве стран Европы, Восточной и Юго-Восточной Азии и Северной Америки СКР в среднем не превысит 1.75. В свою очередь гипотеза IHME основывается на предположении о доступе к противозачаточным средствам 95% женщин, что обеспечит снижение мирового СКР до 1.41. Конечно, такая большая разница в уровне рождаемости заметно сказывается на результатах (данные умеренного прогноза ООН превышают аналогичные результаты IHME примерно в 1.24 раза).

Основными факторами динамики населения являются, во-первых, тенденции в уровне образования женщин, во-вторых, доступность противозачаточных средств. Самым важным фактором, определяющим численность населения мира до 2100 г., остаётся уровень рождаемости: разница в 0.1 СКР для группы стран, с коэффициентом ниже уровня простого воспроизводства, приводит к изменению численности населения планеты к 2100 г. на 528 млн человек. Отличие результатов расчётов группы IHME от прогноза ООН во многом определяется более быстрым снижением рождаемости в странах Африки к югу от Сахары, а также снижением численности в Китае и Индии. К 2050 г. в 151 стране СКР будет ниже уровня простого воспроизводства, а к 2100 г. таких стран будет уже 183. В умеренном варианте в 23 странах (включая Японию, Таиланд и Китай) население сократится более чем на 50% (в Китае на 49%).

Авторы также просчитали экономические последствия демографических изменений, для чего была построена кривая ВВП на одного взрослого трудоспособного возраста. Полученные результаты показали, что Китай станет крупнейшей экономикой мира в 2035 г., но США вернёт себе лидерство в 2098 г.

В сводной таблице 1 приведены результаты расчётов всех перечисленных выше групп для 15 крупнейших по численности населения в 2100 г. стран. Государства ранжированы в зависимости от численности населения и, как видим, в соответствии с разными прогнозами их порядок неодинаков. Цветом выделены ячейки с отрицательными значениями, означающими сокращение населения за рассматриваемый период. Обратим внимание на тот факт, что даже при умеренном варианте демографической динамики, наибольшее снижение населения всеми исследовательскими группами прогнозируется для Китая, хотя убедительных аргументов для этого в работах не предложено.

Как говорилось выше, в июле 2022 г. ООН опубликовала обновлённый демографический прогноз до 2100 г., отдельные цифры которого для 15 крупнейших стран приведены в таблице 2. Таким образом, максимальное сокращение населения предполагается в Китае, причём по новым данным оно будет значительно более сильным, чем это предполагалось в 2019 г. Также прогнозируется серьёзное сокращение населения России (на 23.2%), в результате по этому показателю к концу века наша страна будет занимать 20-е место в мире, однако, как и для Китая, весомых аргументов в поддержку такого прогноза не приводится.

В 2020 г. исследователи ЦЭМИ РАН с помощью методов многомерного статистического анализа провели комплексное обследование факто-

Таблица 1. Результаты умеренных демографических прогнозов от ведущих специализированных организаций (столбцы А — численность населения в 2100 г., млн человек; столбцы В — изменение численности по сравнению с 2020 г., %)

	Расчёты ООН			Расчёты IIASA			Расчёты IHME		
	Страны	А	В	Страны	А	В	Страны	А	В
1	Индия	1447.0	4.9	Индия	1565.9	13.5	Индия	1093.2	–20.8
2	Китай	1065.0	–26.0	Китай	827.8	–42.5	Нигерия	790.7	283.6
3	Нигерия	732.9	255.6	Нигерия	593.5	187.9	Китай	731.9	–49.2
4	США	433.9	31.1	США	487.7	47.3	США	335.8	1.5
5	Пакистан	403.1	82.5	Пакистан	349.1	58.0	Пакистан	248.4	12.4
6	ДР Конго	362.0	304.2	Индонезия	264.2	–3.4	ДР Конго	246.4	175.1
7	Индонезия	320.8	17.3	Эфиопия	227.7	98.1	Индонезия	228.7	–16.4
8	Эфиопия	294.4	156.1	ДР Конго	216.4	141.6	Эфиопия	223.5	94.4
9	Танзания	285.7	378.2	Бразилия	201.1	–5.4	Египет	199.1	94.5
10	Египет	224.7	119.6	Танзания	171.1	186.4	Танзания	186.0	211.3
11	Ангола	188.3	472.9	Бангладеш	167.9	1.9	Нигер	185.0	664.4
12	Бразилия	180.7	–15.0	Уганда	164.3	259.1	Филиппины	169.5	54.6
13	Нигер	164.9	581.4	Египет	157.7	54.1	Бразилия	164.8	–22.5
14	Бангладеш	151.4	–8.1	Филиппины	151.9	38.7	Мексика	146.0	13.2
15	Филиппины	146.3	33.5	Мексика	144.2	11.9	Афганистан	129.8	233.4
	Весь мир	10875	39.5	Весь мир	9500	21.9	Весь мир	8785.6	12.7
	Россия (19)	126.1	–13.6	Россия (16)	133.7	–8.36	Россия (19)	106.5	–27.1

ров, определяющих уровень национальной силы 193 стран-членов ООН [12]. Показатель *национальной силы* в настоящее время является наиболее популярным в мире индикатором, интегрально характеризующим совокупный потенциал конкретной страны; одновременно он позволяет сравнивать уровень её мощи и социально-экономического развития с другими государствами. Для расчёта интегрального индекса национальной силы используются преимущественно валовые показатели.

В таблице 3 приведены данные по изменению численности населения 15 стран-лидеров по показателю национальной силы, рассчитанные на основе прогнозов от трёх групп исследователей. Страны ранжированы в зависимости от значений этого показателя. Обращает на себя внимание тот факт, что снижение численности населения прогнозируется в первую очередь для явных геополитических конкурентов — США и Китая, России и

Германии, а вот союзники (Канада и Великобритания), наоборот, демонстрируют рост.

ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ КИТАЙСКИХ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ

Результаты приведённых выше самых цитируемых демографических прогнозов свидетельствуют о возможной ангажированности в пользу США и, как уже говорилось, против их главного стратегического оппонента — Китая. Поэтому следует обратить внимание на китайские прогнозы динамики населения этой страны до 2100 г.

В известной работе “The Centennial Development Trend of China’s Population Aging” исследователей из Китайского народного университета (г. Пекин) отмечается, что основная демографическая проблема заключается в увеличении численности пожилого населения, создающего повышенную нагрузку на общество за счёт расширения его непроизводительной части [13].

Таблица 2. Результаты умеренного демографического прогноза ООН, июль 2022 г. (столбец А — численность населения в 2100 г., млн человек; столбец В — изменения численности по сравнению с 2020 г., %)

	Страны	А	В
1	Индия	1529.9	10.9
2	Китай	766.7	–46.7
3	Нигерия	546.1	164.9
4	Пакистан	487.0	120.5
5	ДР Конго	432.4	382.8
6	США	394.0	19.0
7	Эфиопия	323.7	181.6
8	Индонезия	296.6	8.4
9	Танзания	244.8	309.8
10	Египет	205.2	100.5
11	Бразилия	184.5	–13.2
12	Филиппины	180.1	64.4
13	Бангладеш	176.4	7.1
14	Нигер	167.0	589.9
15	Судан	142.0	223.8
	ВСЕГО по 237 странам и территориям	10349.3	32.8
	Россия (20)	112.1	–23.2

Согласно прогнозу, численность пожилого населения достигнет пика в 2053 г., после чего его доля будет снижаться. Существенно, что согласно прогнозам китайских учёных (умеренный вариант) предполагается сохранение численности населения КНР на уровне 1.05 млрд человек к 2100 г. в силу предположения об увеличении суммарного коэффициента рождаемости до 1.8, что заметно превышает оценки ИААА и ИММЕ.

В другом исследовании учёных того же университета прогнозируется сокращение населения до 1 млрд человек, связанное со снижением рождаемости вследствие изменения репродуктивной стратегии женщин. Предполагается, что суммарный коэффициент рождаемости будет колебаться вокруг показателя 1.7 в течение длительного периода, а затем снизится до 1.6 к 2070 г. и останется на таком уровне до конца XXI в. При оценке учитывается корректирующее воздействие государственной политики, направленной на стимулирование рождаемости [14].

Прогноз исследователей Пекинского университета (крупнейшего в стране) ещё более оптими-

Таблица 3. Результаты прогнозов динамики численности населения в 2100 г. по сравнению с 2020 г. для 15 стран-лидеров по показателю национальной силы, обладающих наибольшим совокупным потенциалом, %

	ООН-2019	ООН-2022	ИААА	ИММЕ
Китай	–26.01	–46.73	–42.49	–49.15
США	31.07	19.04	47.33	1.45
Индия	4.86	10.86	13.47	–20.79
Россия	–13.56	–23.21	–8.36	–27.06
Германия	–10.79	–17.72	–0.39	–20.72
Франция	0.34	–6.77	33.50	2.87
Япония	–40.73	–41.77	–38.63	–52.78
Бразилия	–15.00	–13.18	–5.40	–22.49
Республика Корея	–42.38	–52.99	–36.57	–47.77
Италия	–33.85	–39.01	–16.56	–49.49
Канада	50.90	42.82	49.89	16.82
Великобритания	14.98	3.83	26.80	5.25
Саудовская Аравия	21.31	44.97	59.13	–5.10
Австралия	68.14	49.37	71.33	42.51
Индонезия	17.28	8.45	–3.40	–16.39

стичен. Умеренный вариант предполагает, что численность населения Китая к 2100 г. составит 1.12 млрд человек, а в случае реализации благоприятного сценария вырастет до 1.56 млрд [15]. Эти результаты во многом основаны на предположении об увеличении ожидаемой продолжительности жизни до 85.61 лет (84.40 лет для мужчин и 86.98 лет для женщин). Авторы также увязывают численность трудоспособных когорт с экономическим ростом страны, прогнозируя снижение его темпов вследствие старения населения. По их мнению, частичная корректировка складывающейся ситуации всё же возможна за счёт смягчения государственной политики в сфере рождаемости.

К примеру, опрос населения показал, что большая часть китайской молодёжи, проживающей в сельской местности, по-прежнему готова придерживаться традиционной репродуктивной стратегии, и в случае окончательного снятия ограничений на число детей в семье можно ожидать заметного изменения депопуляционного тренда. Одним из стимулов к рождению детей мо-

Таблица 4. Прогнозы численности населения России, Китая и США к 2100 г. наиболее цитируемых исследовательских групп (умеренные сценарии), млн человек (%)

Исследовательские группы	Россия	Китай	США
ООН-2019	126.14 (–13.56)	1064.99 (–26.01)	433.85 (31.07)
ООН-2022	112.07 (–23.21)	766.67 (–46.73)	394.04 (19.04)
ПАСА	133.74 (–8.36)	827.80 (–42.49)	487.67 (47.33)
ИНМЕ	106.45 (–27.06)	731.89 (–49.15)	335.81 (1.45)

Таблица 5. Прогнозы численности населения России, Китая и США к 2100 г. наиболее цитируемых исследовательских групп (пессимистичные сценарии), млн человек (%)

Исследовательские группы	Россия	Китай	США
ООН-2019 г.	83.72 (–42.63)	684.05 (–52.47)	307.30 (–7.16)
ООН-2022 г.	74.20 (–49.16)	487.93 (–66.10)	280.51 (–15.25)
ПАСА	121.85 (–16.50)	801.63 (–44.31)	389.56 (17.69)
ИНМЕ	66.58 (–54.38)	455.61 (–68.35)	247.53 (–25.22)

жет стать решение жилищной проблемы в течение ближайших 10–15 лет.

Публикуемые преимущественно в США прогнозы более пессимистичны. В таблицах 4 и 5 сведены данные по прогнозам численности населения России, Китая и США четырёх исследовательских групп в рамках умеренных и пессимистичных сценариев (выделение цветом означает снижение численности населения относительно значений 2020 г.). Даже умеренные варианты демографической динамики предполагают значительное уменьшение численности населения Китая и России, не говоря уже о пессимистичных сценариях. В свою очередь сводная таблица альтернативных прогнозов от исследователей из КНР показывает более оптимистичную картину (табл. 6).

Далее мы рассмотрим существенную составляющую любого демографического прогноза – миграцию населения, обоснуем её важность для получения более реалистичных оценок и дадим обзор наиболее заметных агент-ориентированных

моделей, разработанных для изучения данного процесса.

ПРОГНОЗЫ МИГРАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ

Международная миграция во многом обусловлена экономическими причинами (различия в уровне и качестве жизни, заработной плате, нехватка специалистов того или иного профиля и т.д.); в то же время она может усиливаться в период военных и межэтнических конфликтов, природных и техногенных катастроф.

По некоторым направлениям международная миграция приобретает устойчивый на протяжении длительного времени характер и образует так называемые *миграционные коридоры*, 10 крупнейших из которых показаны в таблице 7. Самый заметный из них – коридор Мексика → США, остальные меняют места в рейтинге в зависимости от происходящих социальных, экономических и политических событий, тем не менее их состав практически постоянен. Кроме того, в таблице 7 приведены данные по общей численности внешних мигрантов, которые позволяют делать выводы об уже сложившихся или потенциальных цивилизационных центрах развития. Китай по данному показателю находится на 55 месте в мире (1.040 млн мигрантов); при этом он является одним из самых заметных доноров международной миграции (в 2020 г. численность китайских мигрантов составила 10.461 млн человек). Данные о нормированном числе эмигрантов в общем населении той или иной страны показывают антилидеров процесса международной миграции, то есть

Таблица 6. Альтернативные оценки динамики численности населения Китая до 2100 г. (умеренные сценарии), млн человек (%)

Китайский народный университет (г. Пекин), 2005 г.	1050 (–27.05)
Китайский народный университет (г. Пекин), 2017 г.	1000 (–30.52)
Пекинский университет, 2014 г.	1120 (–22.19)

Таблица 7. Показатели международной миграции, 2020 г.

	Крупнейшие миграционные коридоры между странами отбытия и прибытия, млн человек		Численность внешних мигрантов в крупнейших странах-реципиентах, млн человек		Доля эмигрантов в общей численности населения страны, %	
1	Мексика → США	10.853	США	50.633	Сирия	–2.500
2	Индия → ОАЭ	3.471	Германия	15.762	Венесуэла	–2.222
3	Россия → Украина	3.331	Саудовская Аравия	13.455	Южный Судан	–1.597
4	Украина → Россия	3.268	Россия	11.637	Самоа	–1.435
5	Индия → США	2.724	Великобритания	9.360	Эритрея	–1.168
6	Афганистан → Иран	2.711	ОАЭ	8.716	Литва	–1.159
7	Индия → Саудовская Аравия	2.502	Франция	8.525	Центрально-Африканская Республика	–0.870
8	Россия → Казахстан	2.476	Канада	8.049	Зимбабве	–0.821
9	Китай → Гонконг	2.408	Австралия	7.686	Сан-Томе и Принсипи	–0.811
10	Палестина → Иордания	2.272	Испания	6.842	Тонга	–0.784

те страны, которые в основном теряют своё население вследствие неудовлетворительных условий жизни (табл. 7, правая колонка).

К настоящему времени разработано множество агент-ориентированных моделей, связанных с исследованиями в области демографии и миграции. Отметим проект “Байесовские агентные исследования населения” (Bayesian Agent-Based Population Studies – <https://baps-project.eu>), инициированный Европейским исследовательским советом, Университетом Саутгемптона (Великобритания) и Университетом Росток (Германия), являющийся частью проекта ООН “Сеть миграции” (https://migrationnetwork.un.org/hub?embed_node=7876). Этот проект сосредоточен на построении методологии создания агентных моделей международной миграции, в которых используются когнитивные взаимодействующие друг с другом агенты в рамках социальных сетей и образованных ими институтов. В работе [16], помимо прочего, описывается процесс сбора и обработки информации о беженцах гражданской войны в Сирии.

Учёные из Нью-Йоркского и Принстонского университетов разработали симулятор на базе агентного подхода – MIDAS, который увязывает социальную, экономическую и экологическую среды, оказывающие влияние на принятие решений отдельными людьми. В ходе экспериментов было показано, что на процесс миграции влияет не только доход агентов, но и их склонность к риску. Кроме того, по мнению разработчиков, полученные после множественных прогонов ре-

зультаты могут восполнить пробел в случае отсутствия актуальных данных переписи населения и миграционной статистики [17].

В исследовании [18] с помощью агентного симулятора подробно изучаются различные аспекты международной миграции – возникновение антииммигрантских настроений в результате изменений потоков рабочей силы, последствия усиления барьеров между странами (на примере Мексики и США).

Швейцария 80% ежегодного прироста населения обеспечивает за счёт мигрантов, и это снижает остроту проблемы старения населения. По мнению исследователей из Швейцарской высшей технической школы Цюриха, приток рабочей силы выгоден для страны, в которой за последнее столетие доля жителей старше 65 лет выросла с 5.8% до 17.8%, а старше 80 лет – с 0.5% до 5.0%. Результаты моделирования с использованием агентного подхода показали, что управление иммиграцией может обеспечить устойчивость системы социального обеспечения [19].

В работе-агрегаторе [20] рассматривается современное состояние агентного моделирования применительно к изучению миграции и анализируется порядка 100 исследований, в которых изучаются механизмы принятия решений о переселении, часть из которых основана на теории запланированного поведения.

Отдельным аспектам миграции, исследуемым с помощью агентного подхода, посвящён ряд исследований ЦЭМИ РАН. К примеру, в работе “Агентное моделирование социально-экономи-

ческих последствий миграции при государственном регулировании занятости” анализируется модель взаимодействия мигрантов и коренных жителей, в числе прочего учитывающая влияние уровня толерантности общества на выбор агентом места жительства. В качестве расчётных сценариев рассматривались различные поведенческие паттерны мигрантов, интенсивность их потока, а также уровень госрасходов на образование [21]. В статье “Агент-ориентированный подход при моделировании трудовой миграции из Китая в Россию” описывается модель трудовой миграции, в которой принимаются во внимание внутренние установки агентов, определяющие выбор территории для проживания. Программная конструкция учитывает особенности населения рассматриваемых стран, формализованные через большой набор параметров и поведенческих свойств отдельных индивидуумов, а также способы передачи информации о привлекательности рабочих мест в местах притяжения мигрантов. В ходе вычислительных экспериментов рассматривалось влияние валютного курса на структуру и численность мигрантов [22].

Накопленный за долгое время опыт построения демографических агент-ориентированных моделей нашёл отражение в коллективной монографии “Agent-Based Modelling in Population Studies: Concepts, Methods, and Applications” [23], в которой описывается несколько десятков различных симуляторов, разработанных применительно к разнообразным социальным явлениям и способам их компьютерной формализации. В этой книге обосновывается существенная роль социальных взаимодействий на микроуровне, поскольку они сильно влияют на бракоразводные процессы и в конечном счёте на уровень рождаемости. На некоторых моделях демонстрируется важность и большое влияние пространственного распределения агентов, а также интенсивность их общения и следование традициям на принятие решения о рождении детей. Отдельная глава посвящена оценке влияния военных конфликтов на изменение количества и состава населения (на примере гражданской войны в Непале с 1996 по 2006 г.). Также в книге описывается специализированное программное обеспечение для разработки демографических агент-ориентированных моделей разной размерности (к примеру, JASmine, JAMES II и др.). Авторы монографии предложили использовать модифицированный протокол ODD (Overview, Design concepts, and Details) для некоторого упорядочивания большого количества демографических агентных моделей.

Собственно, любой обзор будет неполным и обрывочным, но анализ соответствующих исследований позволяет сделать вывод о том, что в основе большинства агент-ориентированных моделей миграции лежит предположение о повыше-

нии вероятности переселения из тех стран-доноров, условия проживания в которых хуже, чем в странах-реципиентах. Основными средовыми параметрами, определяющими уровень жизни, являются средний доход, ВВП на душу населения, доля безработных среди трудоспособного населения.

Далее мы переходим к рассмотрению разработанной нами агент-ориентированной модели и проведению с её помощью вычислительных экспериментов.

ОПИСАНИЕ АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ

Наш международный коллектив построил демографическую агент-ориентированную модель для всего мира (193 страны — члены ООН), позволяющую разрабатывать долгосрочные прогнозы численности населения, а также рассчитывать половозрастную структуру населения рассматриваемых государств. В этом смысле наша модель является цифровым двойником планеты и представляет собой искусственное общество. Отметим, что принцип его построения аналогичен способу разработки цифрового двойника Российской Федерации на основе более 140 млн агентов, условно представляющих собой население страны [24]. В этой статье большое внимание уделяется механизмам повышения рождаемости, реализованным в ряде стран, но не имевшим успеха. Принципиальный вывод сводится к следующему: ни одна из мер государственной политики, направленной на увеличение рождаемости, никогда не приносила долговременного эффекта, а математические методы не позволили получить статистически значимые оценки такого влияния на продолжительном временном периоде. По всей видимости, на практике целесообразно реализовывать комплексный подход, предусматривающий одновременное использование нескольких механизмов стимулирования рождаемости. Для количественной оценки такого воздействия наиболее подходящим инструментом является демографическая агент-ориентированная модель, структура которой для всего мира приводится ниже.

Каждый *индивидуум (агент-человек)* с точки зрения технической реализации модели представляет собой экземпляр программного класса с набором свойств:

- пол;
- возраст;
- страна проживания;
- тип поселения (город, село);
- число детей;
- желаемое число детей;



Рис. 2. Схема работы демографической агент-ориентированной модели

- тип репродуктивного поведения;
- родственные связи (коллекция агентов, имеющих связь с конкретным индивидуумом);
- обеспеченность жильём;
- уровень образования;
- доход.

Помимо свойств, у агентов есть программные методы, определяющие их поведение:

- миграция;
- рождение ребёнка;
- смерть агента;
- сбор информации.

Как и агенты-люди, каждая *страна* представляет собой экземпляр программного класса с набором свойств:

- ВВП;
- ВВП на душу населения;
- среднедушевой доход;
- численность населения;
- численность сельского и городского населения;
- половозрастная структура;
- экономически активное население;
- уровень безработицы;
- суммарные коэффициенты рождаемости для городского и сельского населения;
- ожидаемая продолжительность жизни при рождении;
- смертность от сердечно-сосудистых заболеваний, рака и диабета;
- смертность в результате ДТП;
- коэффициент младенческой смертности;

- коэффициент смертности взрослого населения мужского пола;
- коэффициент смертности взрослого населения женского пола.

На рисунке 2 представлена укрупнённая схема работы модели, предусматривающая выполнение нескольких этапов. Разберём их подробнее.

1. На первом шаге происходит считывание информации из базы данных и формирование в программе массивов для дальнейшей настройки агентов модели.

2. Процесс вычисления структуры искусственного общества заключается в подборе корректных функций распределения вероятностей для различных свойств агентов (пол, возраст, страна проживания, доход и т.д.) для последующего назначения агентам этих свойств таким образом, чтобы демографические структуры созданного цифрового двойника совпадали со структурами реального социума.

3. Третий шаг включает в себя процедуры создания экземпляров программных классов и может представлять сложность в случае реализации параллельной версии модели, предполагающей запуск на суперкомпьютере.

Далее на экран выводится интерфейс модели, представляющий собой интерактивную карту мира, при активации одного из её элементов (страна) можно получить о нём информацию (половозрастную пирамиду, суммарный коэффициент рождаемости, количество родившихся и умерших за определённый период, средний возраст и т.д.) на текущий момент времени. После изменения управляющих параметров система переходит к *расчёту* следующего(-их) шага(-ов) *модельной симуляции*, которые относятся к нескольким важ-

ным блокам — имитации *смертности, рождаемости, миграции* и др.

4. На основе таблиц с коэффициентами смертности, дифференцированными для агентов в зависимости от пола, возраста, страны и типа поселения, рассчитываются вероятности смерти для всех членов искусственного общества, а затем, в зависимости от реализации этого события, происходит либо удаление соответствующих агентов, либо увеличение их возраста на 1 единицу (год).

5. У оставшихся агентов модели уничтожаются связи с только что удалёнными агентами.

Блок “*рождаемость*” включает в себя следующие шаги.

6. Формирование коллекций агентов-женщин фертильного возраста, которые хотели бы завести ребёнка. На такое решение влияет несколько факторов (помимо необходимых свойств — пола и фертильного возраста): обеспеченность жильём, тип репродуктивного поведения, доход, наличие детей у агентов из своей социальной группы, а также наличие собственных детей и тип поселения.

7. В случае реализации события “рождение”, для нового агента срабатывает процедура присвоения значений свойствам (пол, страна проживания, родственные связи, тип поселения и т.д.), частично зависящим от свойств агента-родителя.

8. Следующий блок включает в себя процедуру расчёта *миграции* — агент меняет страну проживания, изменяется его доход.

9. Сбор и обработка статистики по агентам, а также пересчёт всех программных коллекций.

10. Вывод результатов на экран и ожидание действий от пользователя. При проведении экспериментов данный шаг обычно автоматизируется: к примеру, задаётся циклическое проведение множественных экспериментов, усреднение полученных результатов и/или вводится большее количество единиц модельного времени.

Проведение вычислительных экспериментов с агент-ориентированной моделью представляет собой довольно длительный процесс, поскольку в ней присутствует множество стохастических переменных. В этой связи для получения результата в рамках одного сценария необходимо осуществить несколько расчётов (мы решили проводить по 20 модельных прогонов), а затем усреднить полученные значения.

С текущей версией модели, которая постоянно развивается, были проведены расчёты следующих сценариев.

Базовый сценарий (1), соответствующий умеренным вариантам от ООН, ИАСА и ИММЕ, то есть инерционный вариант динамики демографических систем стран мира.

Сценарий регионализации (2), который предусматривает усиление многополярности, перераспределение товарных потоков между ключевыми торговыми партнёрами и другие процессы, связанные со свёртыванием глобализации и снижением мощности миграционных потоков. К примеру, Китай является страной-донором рабочей силы, а США и Россия — странами-реципиентами, причём в настоящее время США лидирует по этому показателю. Соответственно, это один из факторов, который должен обеспечить заметный прирост населения США к 2100 г. Отметим, что, по данным ООН, число мигрантов в мире за период 1990–2020 гг. выросло в 1.83 раза [25]. Но что произойдёт, если миграция начнёт снижаться и население будет проживать в странах своего происхождения? Для расчётов мы предположили уменьшение доли мигрантов до уровня 2000 г. или постепенное снижение этой доли на 60% начиная с 2023 г.

Сценарий дезурбанизации (3). В последние десятилетия мы стали свидетелями интенсивной урбанизации. Например, население г. Москвы в 2000 г. составляло 6.91% населения всей страны, а в 2020 г. — уже 8.64%. Заметно увеличилась численность жителей крупнейших городов Китая [26]: население Пекина выросло с 13.569 млн человек (1.09% населения страны) в 2000 г. до 21.893 млн (1.55% населения страны) в 2020 г.; Гуанчжоу за тот же период — с 9.942 млн (0.80%) до 18.677 млн (1.32%); Шанхай — с 14.231 млн (1.15%) до 24.871 млн (1.76%); Шэньчжэнь — с 6.480 млн (0.52%) до 17.494 млн (1.24%) и т.д.

Этот процесс имеет вполне объяснимую экономическую причину: предоставление различного рода услуг (в области здравоохранения, образования и т.д.) населению на территории его концентрированного проживания обходится дешевле, чем в случае их пространственного рассредоточения. С другой стороны, урбанизация оказывает негативное воздействие на репродуктивную стратегию людей и создаёт повышенную угрозу национальной безопасности в случае проведения терактов, возникновения эпидемий и т.д.

В рамках расчётов мы предположили постепенное возвращение доли городского населения до значений 2000 г. Например, для Китая это будет его сокращение с нынешних 61.4% до 35.9% (в 1990 г. — 26.4%); для России — с 74.8% до 73.4%; для США — с 82.7% до 79.1%, а для всех 193 стран в совокупности — с 56.2% до 51.6%.

В основе сценария лежит гипотеза, в соответствии с которой репродуктивные стратегии будут меняться в сторону увеличения суммарного коэффициента рождаемости, а дезурбанизация станет результатом активного внедрения цифровых технологий и возможности выполнения множества видов работ дистанционно.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В рамках модели расчёты осуществлялись для всех 193 стран, но будут представлены данные только для России, Китая, США и всего мира. Данные по США приводятся с целью сравнения прогноза американских исследователей с полученными нами результатами. Цель сравнения не в обсуждении правильности той или иной методики, а в рассмотрении альтернативных вариантов развития демографических систем.

В таблице 8 представлены результаты прогноза численности населения с использованием демографической агент-ориентированной модели на 2100 г. В общих чертах они соответствуют расчётам групп ООН, ПАСА и ИММЕ: в лидерах Индия, а в топ-15 заметное место занимают страны Африки и Азии, но наша модель показала более значимую роль Нигерии и Танзании. Обращает на себя внимание прогнозная численность населения Китая, существенно превосходящая результаты расчётов ООН, ПАСА и ИММЕ, а также сокращение численности населения США.

Что касается России, то полученное нами значение практически совпадает с прогнозом ООН за 2019 г. и превышает два других прогноза. В США пик будет достигнут в 2048 г. и составит 356.72 млн человек, после чего население будет плавно сокращаться — до 298.12 млн в 2100 г., что меньше нынешней численности (331 млн). В Китае самое большое значение — 1451.23 млн человек — придётся на 2045 г., после чего наметится спад — до 1028.66 млн. Россия свой пик уже прошла, на начало прогнозного периода (2022) её на-

Таблица 8. Пятнадцать крупнейших по численности населения стран в 2100 г., млн человек

1	Индия	1370.77
2	Китай	1028.66
3	Нигерия	889.97
4	Пакистан	463.69
5	ДР Конго	370.75
6	Эфиопия	339.26
7	Танзания	344.81
8	Индонезия	312.38
9	США	298.12
10	Ангола	268.36
11	Египет	267.64
12	Нигер	254.15
13	Судан	198.07
14	Бразилия	148.95
15	Филиппины	147.98
	ВЕСЬ МИР	11773.45
	Россия (23)	120.46

селение составляет 145.88 млн, а к 2100 г. оно уменьшится до 120.46 млн (рис. 3).

Как видим, полученные значения для России и Китая в рамках базового прогноза более опти-

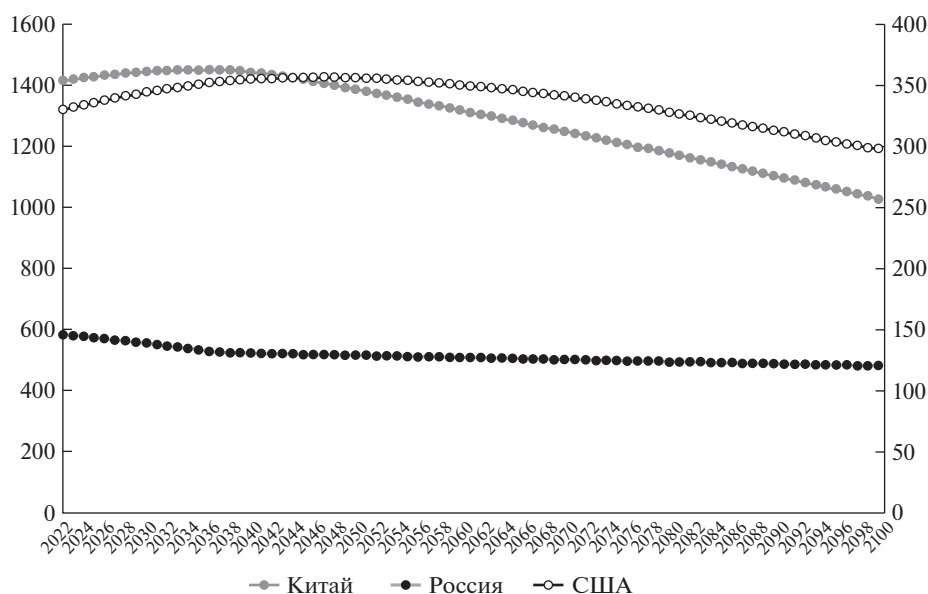


Рис. 3. Динамика численности населения Китая (левая ось), России и США (правая ось), млн человек

Таблица 9. Прогнозная численность населения в 2100 г., млн человек

	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
Китай	1028.66	1146.85	1381.70
США	298.12	219.14	308.20
Россия	120.46	103.10	148.90

мистичны, чем у других исследователей, однако сокращение численности населения всё равно заметнее, чем у США. Так, в 2100 г. по сравнению с 2022 г. этот показатель составит 82.6% для России, 90.1% для США и 71.5% для Китая.

Что касается последствий реализации сценариев 2 и 3, то вследствие регионализации, то есть сужения миграции, численность населения Китая увеличится, а США и России заметно уменьшится, что вполне естественно, учитывая направленность миграционных потоков. В свою очередь сценарий дезурбанизации, предполагающий более равномерное расселение людей, а также корректировку их репродуктивных стратегий, будет иметь своим следствием рост населения к 2100 г.: в США и Китае его численность практически восстановится, а в России даже немного увеличится.

* * *

По результатам исследования можно сделать следующие основные выводы.

- Приведённые здесь демографические прогнозы наиболее известных исследовательских коллективов в основном базируются на когортно-компонентном методе, который является общепризнанным и хорошо себя зарекомендовавшим в силу математической простоты и реалистичности для краткосрочных периодов. Тем не менее в последнее время всё чаще появляются работы, в которых этот подход критикуется в силу экзогенности рассматриваемых факторов и отсутствия учёта поведенческих особенностей людей и влияющих на них событий в социальных и экономических сферах [27]. Как было показано выше, этот метод хотя и применим для долгосрочных прогнозов, но получаемые результаты в основном базируются на субъективных предположениях об изменениях, к примеру СКР, которые, к сожалению, иногда бывают ангажированными.

- Альтернативные прогнозы необходимы для формирования более оптимистичных для России и Китая информационных потоков. Не совсем справедливо, что расчёты всех исследовательских групп показывают заниженные в сторону уменьшения результаты: например, заявляется, что в Китае в рамках даже умеренных прогнозов чис-

ленность населения сократится практически наполовину (табл. 4). При этом в соответствующей работе [16] не приводятся аргументированных обоснований, а предполагаемое сокращение представляется лишь в качестве гипотезы. Такое информационное программирование населения может оказывать негативное влияние на репродуктивное поведение людей и на экономическую систему (стратегии инвесторов и т.д.).

Вот почему крайне важно на постоянной основе совместными усилиями осуществлять долгосрочное демографическое прогнозирование с использованием современных инструментов.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование группы из КНР профинансировано Научным фондом в сфере гуманитарных наук при Министерстве образования Китая, проект № 20YJA790049. Исследование российской группы выполнено в рамках проекта Российского научного фонда № 21-18-00136 “Разработка программно-аналитического комплекса для оценки последствий межстрановых торговых войн с приложением для функционирования в системе распределённых ситуационных центров России”.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Alkema L., Raftery A.E., Gerland P. et al.* Probabilistic Projections of the Total Fertility Rate for All Countries // *Demography* 1. August 2011. № 48 (3). P. 815–839. <https://doi.org/10.1007/s13524-011-0040-5>
2. *World Population Prospects 2022: Methodology of the United Nations population estimates and projections.* United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (UN DESA/POP/2022/TR/NO. 4). https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2022_Methodology.pdf (дата обращения 24.09.2022).
3. *Ševčíková H., Alkema L., Liu P. et al.* (2022) bayes TFR: Bayesian Fertility Projection. R Package and documentation version 7.1-1. <https://cran.r-project.org/web/packages/bayesTFR>
4. *World Population Prospects 2019: Methodology of the United Nations population estimates and projections.* United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (ST/ESA/SER.A/425). https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Methodology.pdf
5. *Demographic and Human Capital Scenarios for the 21st Century: 2018 assessment for 201 countries* // W. Lutz, A. Goujon, Samir KC et al. (eds.). European Commission, Joint Research Centre, Publications Office of the European Union. Luxembourg, 2018. <https://doi.org/10.2760/41776>, EUR 29113; http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/15226/1/lutz_et_al_2018_demographic_and_human_capital.pdf
6. *Adam D.* (2021): How far will global population rise? Researchers can't agree // *Nature*. 2021. № 597. P. 462–465. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-02522-6>

7. *Vollset S.E., Goren E., Yuan C. et al.* (2020): Fertility, mortality, migration, and population scenarios for 195 countries and territories from 2017 to 2100: a forecasting analysis for the Global Burden of Disease Study // *The Lancet*. 2020. V. 396. Is. 10258. P. 1285–1306. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30677-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30677-2)
8. *Gietel-Basten S., Sobotka T.* (2020) Uncertain population futures: Critical reflections on the IHME Scenarios of future fertility, mortality, migration and population trends from 2017 to 2100. <https://doi.org/10.31235/osf.io/5syef>
9. *Henning P.* (2008): Computational Evolution. https://doi.org/10.1007/978-3-540-70556-7_14
10. *Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Epstein J.M.* Agent-based modeling for a complex world. 2nd edition, revised. M.: Scientific publications department, GAUGN, 2022 (a).
11. *Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Epstein J.M.* Agent-based modeling for a complex world. Part 1 // *Economics and Mathematical Methods*. 2022 (6). № 58. P. 5–26. <https://doi.org/10.31857/S042473880018970-6>
12. *Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Ильин Н.И.* Моделирование и оценка национальной силы России // *Экономические стратегии*. 2020. № 2 (168). С. 6–19. <https://doi.org/10.33917/es-2.168.2020.6-19>
13. *Peng D., Zhenwu Z., Wei C.* The Centennial Development Trend of China's Population Aging // *Population Research*. 2005. V. 29. № 6. P. 90–93 (Chinese).
14. *Zhenwu Z., Jiaju C., Long L.* 2015–2100. Future Trends of China's Population and Aging: 2015–2100 // *Population Research*. V. 41. № 4. July 2017. P. 60–71 (Chinese).
15. *Wei Z., Shanjun L., Kai C.* Characteristics and Trends of Population Aging in China and Potential Impact on Economic Growth // *Quantitative and Technical Economics Research*. 2014. № 31 (08). P. 3–20 (Chinese). <https://doi.org/10.13653/j.cnki.jqte.2014.08.001>
16. *Bijak J., Higham P.A., Hilton J. et al.* (2022): Towards Bayesian Model-Based Demography. Agency, Complexity and Uncertainty in Migration Studies // *Methodos Series*. 2022. V. 17. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-83039-7>
17. *Bell A.R., Calvo-Hernandez C., Oppenheimer M.* Migration, Intensification, and Diversification as Adaptive Strategies // *Socio-Environmental Systems Modelling*. 2019. № 1. P. 16102. <https://doi.org/10.18174/sesmo.2019a16102>
18. *Lim D.K.* A Political, Economic and Social Agent Based Model of Migration (MAPES) // UCLA. 2019. ProQuest ID: Lim_ucla_0031D_18154. Merritt ID: ark:/13030/m53n75w7. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/9r82j9gt>
19. *Marini M., Chokani N., Abhari R.S.* Agent-Based Model Analysis of Impact of Immigration on Switzerland's Social Security // *Int. Migration & Integration*. 2019. № 20. P. 787–808 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12134-018-0631-8>
20. *Klabunde A., Willekens F.* Decision-Making in Agent-Based Models of Migration: State of the Art and Challenges // *European journal of population = Revue européenne de démographie*. 2016. № 32 (1). P. 73–97. <https://doi.org/10.1007/s10680-015-9362-0>
21. *Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л. и др.* Агентное моделирование социально-экономических последствий миграции при государственном регулировании занятости // *Экономика и математические методы*. 2022. Т. 58. № 1. С. 113–130. <https://doi.org/10.31857/S042473880018960-5>
22. *Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Агеева А.Ф.* Агент-ориентированный подход при моделировании трудовой миграции из Китая в Россию // *Экономика региона*. 2017. Т. 13. Вып. 2. С. 331–341.
23. *Agent-Based Modelling in Population Studies: Concepts, Methods, and Applications* / André Grow and Jan Van Bavel (eds). 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32283-4>
24. *Макаров В.Л., Нигматулин Р.И., Ильин Н.И. и др.* Цифровой двойник (искусственное общество) социально-экономической системы России – платформа для экспериментов в сфере управления демографическими процессами // *Экономические стратегии*. 2022. № 2 (182). С. 6–19. <https://doi.org/10.33917/es-2.182.2022.6-19>
25. Сайт Отдела населения ООН. <https://www.un.org/development/desa/pd/content/international-migrant-stock>
26. Сайт City Population. <https://www.citypopulation.de/en/china/cities/>
27. *Burch T.K.* (2018): The Cohort-Component Population Projection: A Strange Attractor for Demographers // *Model-Based Demography. Demographic Research Monographs*. Springer, Cham, 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65433-1_10