

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
И ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

К.В. Ростислав, Ю. Ю. Пономарев, К.А. Борzych

РАЗРАБОТКА ПОДХОДА К ПОСТРОЕНИЮ ДИНАМИЧЕСКОЙ ИМИТАЦИОННОЙ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ

Препринт

Москва 2020

В настоящее время в России в недостаточной мере проработано научно-методическое обоснование целеполагания основных стратегических документов, определяющих пространственное развитие Российской Федерации. Формирование перспективных целей и задач пространственного развития часто формируется на основе отдельных ситуативных территориальных потребностей, а научно-обоснованный подход к анализу сценариев пространственного развития экономики и последствий их реализации при изменении экономических условий в рамках отдельных субъектов РФ и в России в целом в российской практике развит достаточно слабо. Это формирует необходимость разработки инструментария, который позволял бы проводить моделирование процессов перераспределения производительных сил на более детализированном уровне внутри муниципальных образований. Все это повышает актуальность развития модельного комплекса имитационной пространственной модели российской экономики в направлении повышения уровня детализации моделируемых процессов. Настоящая работа посвящена развитию методологии построения имитационной пространственной модели российской экономики, разработке методики сценарного анализа пространственного развития российской экономики с помощью имитационной пространственной модели.

Currently, in Russia, the scientific and methodological substantiation of the goal-setting of the main strategic documents has been insufficiently worked out. The formation of long-term goals and spatial development is often formed on the basis of individual situational spatial resources, and a scientifically grounded approach to the analysis of the spatial development of the economy and the consequences of their implementation when economic conditions change in individual constituent entities of the Russian Federation. weak. This creates the need to develop tools that allow modeling the processes of redistribution of productive forces at a more detailed level within municipalities. All this increases the relevance of the development of the model complex of the imitation space of the model of the Russian economy in the direction of increasing the level of detail of the modeled ones. This work is devoted to the development of a methodology for constructing a simulation spatial model of the Russian economy, the development of a methodology for analyzing the financial development of the Russian economy using a simulation spatial model.

Кирилл Ростислав

Младший научный сотрудник лаборатории инфраструктурных и пространственных исследований ЦПЭ РАНХиГС при Президенте Российской Федерации. E-mail: rostislav-kv@ranepa.ru

Юрий Пономарев

Заведующий Лабораторией инфраструктурных и пространственных исследований ЦПЭ РАНХиГС при Президенте Российской Федерации, к.э.н. E-mail: ponomarev@ranepa.ru

Ксения Борзых

Младший научный сотрудник лаборатории инфраструктурных и пространственных исследований ЦПЭ РАНХиГС при Президенте Российской Федерации. E-mail: borzykh-ka@ranepa.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Анализ и структуризация актуальных подходов к построению динамических моделей общего равновесия и имитационных моделей, в том числе с учетом пространственных взаимодействий.....	6
1.1 Теоретические основы построения имитационных моделей и моделей общего равновесия	6
2 Анализ и систематизация основных механизмов и факторов, оказывающих влияние на пространственное развитие российской экономики	12
2.1 Влияние рынка недвижимости на возможность переезда	12
2.2. Отраслевая структура фирм.....	17
2.3 Экологические эффекты, качество городской среды.....	19
2.4 Факторы принятия решений о переезде внутри страны	29
2.5 Переключение населения между различными видами транспорта	31
3 Разработка подхода к построению динамической имитационной пространственной модели российской экономики	34
3.1 Описание подхода к построению модели.....	34
3.2 Формирование и описание базы данных	44
3.4 Анализ результатов построения динамической имитационной пространственной модели российской экономики.....	52
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	71
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	74

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в России в недостаточной мере проработано научно-методическое обоснование целеполагания основных стратегических документов, определяющих пространственное развитие Российской Федерации. Формирование перспективных целей и задач пространственного развития часто формируется на основе отдельных ситуативных территориальных потребностей, а научно-обоснованный подход к анализу сценариев пространственного развития экономики и последствий их реализации при изменении экономических условий в рамках отдельных субъектов РФ и в России в целом в российской практике развит достаточно слабо.

Прототип имитационной пространственной модели российской экономики, который разработан в рамках НИР РАНХиГС в 2019 году, позволяет проводить анализ эффектов от реализации мер экономической политики с точки зрения динамики процессов изменения пространственного размещения экономических агентов на межрегиональном и межмуниципальном уровне. Вместе с тем национальные цели, сформулированные в Указе Президента РФ № 204, предусматривают значительное повышение качества городской среды и повышение совокупной факторной производительности компаний, которое, как правило происходит за счет повышения пространственной концентрации наиболее производительных компаний в агломерациях и их перераспределения в пространстве. Кроме того, национальными проектами предусмотрено существенные вложения в развитие объектов транспортной инфраструктуры («Безопасные и качественные автомобильные дороги» и «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года»).

Это формирует необходимость разработки инструментария, который позволял бы проводить моделирование процессов перераспределения производительных сил на более детализированном уровне внутри муниципальных образований. Все это повышает актуальность развития модельного комплекса имитационной пространственной модели российской экономики в направлении повышения уровня детализации моделируемых процессов.

Поэтому основной целью настоящей работы является развитие методологии построения имитационной пространственной модели российской экономики, разработка методики сценарного анализа пространственного развития российской экономики с помощью имитационной пространственной модели.

1 Анализ и структуризация актуальных подходов к построению динамических моделей общего равновесия и имитационных моделей, в том числе с учетом пространственных взаимодействий

1.1 Теоретические основы построения имитационных моделей и моделей общего равновесия

1.1.1

В исследовании социально-экономических систем широко применяется моделирование — метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, упрощенным образом, который с достаточной точностью описывает процессы так, как они проходили бы в действительности. Таким образом исследователь может проводить эксперименты с моделью с целью получения информации об исходной системе, её свойствах, проводить сценарные расчёты и прогнозировать её реакции на изменение окружающей среды.

При моделировании социально-экономических систем применяется пять основных классов моделей:

- эконометрические модели,
- модели общего экономического равновесия,
- имитационное моделирование,
- нейросетевое моделирование,
- гибридные модели.

Эконометрические модели подходят для исследования стабильных и слабо динамичных систем и позволяют изучить количественные и качественные взаимосвязи между элементами системы. Эконометрические модели применяют статистические методы для исследования, однако они не способны выявить причинно-следственные связи и поэтому не могут выступать самостоятельным методом моделирования, однако их применение способно повысить точность других классов моделей в процессе калибровки или расчёта параметров.

Модели общего экономического равновесия — популярный инструмент моделирования макропроцессов, описывающий поведение всех действующих в системе агентов/рынков, как правило, представляет собой сложную систему уравнений, решением которой является общее экономическое равновесие системы. Модели общего экономического равновесия используются для оценки эффектов изменения в одной части экономики на все остальные. Недостатком моделей такого класса является необходимость поиска числового или аналитического решения для системы уравнений, что ограничивает степень сложности элементов, которые могут быть имплементированы в данные модели.

Имитационное моделирование — логико-математический способ моделирования систем и процессов, представляет собой набор правил, определяющих переход системы от текущего состояния к последующему в следующий период времени (итерацию модели). Имитационный подход наиболее эффективен в ситуациях, где необходимо проанализировать большое число факторов и возможных сценариев развития. Отдельным преимуществом данного класса моделей является возможность постепенного повышения детализации моделируемых подсистем до достижения динамики схожей с исходной системой, что позволяет достичь баланса между упрощением и реалистичностью минимальным количеством затраченных ресурсов.

Нейросетевое моделирование — метод моделирования, применяемый для исследования слабо формализуемых систем или процессов, также применяемый при неполных или искажённых данных. Как и эконометрические методы, нейросетевое моделирование способно повысить точность других методов моделирования, однако на его основе нельзя построить исчерпывающую модель исходной системы, поскольку данный метод функционирует в качестве «чёрного ящика», не позволяющего выявить причинно-следственные связи между взаимодействующими элементами системы.

Гибридные модели — моделирование, при котором совмещаются подходы и модели из разных классов для увеличения точности итоговой модели.

1.1.2

Имитационное моделирование — часто используется для пространственных исследований ввиду его преимуществ в работе с большим количеством возможных подсистем. В рамках имитационного моделирования также выделяют три подхода:

- 1) дискретно-событийное моделирование,
- 2) системная динамика,
- 3) индивид-ориентированные модели (Individual-based models) / Агент-ориентированное (агентное) моделирование.

Дискретно-событийное моделирование, как правило, применяется для моделирования производственных процессов и малоприспособно для описания сложных социально-экономических систем, поскольку в нём вместо непрерывного или дискретного времени рассматриваются отдельные события моделируемой системы.

Системная динамика — метод моделирования, где для объекта исследования строятся причинные связи влияния одних параметров на другие, а затем на основе полученных взаимовлияний симулируется модель. Данный метод подходит для имитирования макроуровней, показателей с высокой степенью агрегации. Социально-экономические взаимодействия могут быть представлены в рамках моделей данного

класса, но они зависят от явного перечисления причинных связей и функционального представления, а также они с трудом способны описать пространственные отношения между объектами.

В зависимости от источника, *individual-based models* и *agent-based models* определяются двумя возможными образами:

- два термина для обозначения одного класса моделей, где *individual-based models* применяется для исследований в сфере экологии, а *agent-based models* для исследований в других сферах;
- термины разного уровня классификации: *individual-based models* – группировка верхнего уровня классификации, включающая в себя такие классы моделей как: клеточные автоматы, микросимуляции и агент-ориентированные модели.

В рамках данного исследования за основу взят второй подход к определению терминологии.

Индивид-ориентированное моделирование направлено на изучение децентрализованных систем, изучает динамику поведения системы, определяемую функционированием множества индивидуальных агентов, действующих по своим локальным правилам поведения. Этот подход симулирует систему «снизу-вверх», рассматривая влияние поведения, взаимодействия агентов на микроуровне на итоговый результат работы всей системы. Таким образом, в имитационных моделях индивид-ориентированного подхода одной из парадигм является явление самоорганизации — возникновение сложной общей динамики системы из простых связей, лежащих в основе имитации.

1.1.2.1

Одним из видов моделей индивид-ориентированного подхода являются клеточные модели, в том числе включающие в себя модели клеточных автоматов. Данные модели состоят из решетки конгруэнтных ячеек, где каждая ячейка существует в одном из конечных наборов состояний, и будущие состояния зависят от правил перехода, основанных на локальной пространственно-временной окрестности. Система однородна в том смысле, что набор возможных состояний одинаков для каждой ячейки и одно и то же правило перехода применяется к каждой ячейке.

Клеточный автомат — это дискретная динамическая система, поведение которой определяется в терминах локальных отношений. Пространство в системе клеточного автомата разделено на решетку или сетку ячеек с одинаковым размером и формой, обычно квадратными. Каждая ячейка имеет значение 0 или 1 или значение по шкале от 0 до 1.

Состояние ячейки и ее поведение определяется состоянием других ячеек в непосредственной близости на предыдущем временном шаге, набором локальных правил и самой ячейкой.

Важной особенностью клеточного автомата является то, что автоматы не перемещаются; они могут только изменять свое состояние. Положение ячеек и их отношения соседства остаются неизменными с течением времени. Напротив, агенты в агентных моделях, могут быть либо зафиксированы в своем местоположении, либо могут свободно «перемещаться» по своей среде. В отличие от агентов, ячейки автоматов не могут иметь более одного атрибута состояния; например, ячейка может быть занята или не занята, но ячейка не может содержать несколько атрибутов, таких как тип здания, дата постройки и т. д.

1.1.2.2

Микросимуляция (MSM) - это методология, работающая по принципу создания микроданных для небольших территорий в определенный момент времени, а затем на их основе прогнозирования будущих микроданных [1]. Микросимуляция широко применяется для моделирования воздействия различных сценариев политики на отдельные «единицы», например, для понимания последствий закрытия фабрики для отдельных домохозяйств.

Как и в случае с клеточными автоматами и агент-ориентированными моделями, микросимуляция действует на уровне отдельного человека, способного имитировать глобальные последствия локальных взаимодействий, позволяя отслеживать характеристики каждого человека с течением времени. Однако, что очень важно, в отличие от агент-ориентированных моделей, микросимуляция моделирует только односторонние взаимодействия: влияние политики на людей, но не влияние отдельных лиц на политику, а также взаимодействия между людьми не моделируются. Более того, модели микросимуляция не имеют возможности поведенческого моделирования, свойственного агент-ориентированным моделям.

1.1.2.3

Среди исследователей нет единого мнения о точном определении термина «агент», поскольку до сих пор ведётся дискуссия, должно ли определение исходить из целей агента или его среды. Разнообразие в применении агентного подхода затрудняет определение четкой структуры характеристик агента, но есть несколько особенностей, общих для большинства агентов:

- 1) автономность: агенты являются автономными единицами (т.е. управляются без влияния централизованного контроля), способными обрабатывать информацию и

обмениваться этой информацией с другими агентами для принятия независимых решений, могут свободно взаимодействовать с другими агентами;

2) гетерогенность: агенты могут являться автономным индивидуумам с различным набором характеристик, например, агент, представляющий человека, может иметь такие атрибуты, как возраст, пол, работа и т. д. Агрегированные группы агентов также могут существовать, но они объединяются по принципу «снизу-вверх» и являются совокупностями похожих автономных индивидов;

3) активность: агенты активны, потому что они оказывают независимое влияние на симуляцию модели, в зависимости от заданного им набора из основных метафункций:

Внутри модели агенты могут обладать и другими характеристиками, и для некоторых ролей агентов некоторые функции будут более важными, чем другие. Зачастую в одной модели присутствует много разных типов агентов с определенными наборами характеристик.

Агенты разделяют окружающую среду посредством коммуникации и взаимодействия (наличие общей среды, в которой действия одного агента могут влиять на окружение других), и они принимают решения, которые связывают их поведение и окружающую среду (наличие некоторой модели, связывающих автономные цели агентов с окружающей средой через их поведение). Моделью поведения может являться как заданная реакция на различные изменения в окружающей среде, так и рациональный выбор, при котором агенты дедуктивно решают сложные оптимизационные задачи для максимизации своего благополучия и нахождения баланса между краткосрочным и долгосрочным выигрышем.

Агенты могут быть представителями любого автономного объекта, например, люди, здания, автомобили, фирмы, земельные участки, капли воды или насекомые. Агенты могут быть представлениями как одушевленных существей, таких как люди, которые могут свободно перемещаться по окружающей среде, так и неодушевленных, например, розничный магазин, который имеет фиксированное местоположение, но может изменять свои состояния. Каждый из неодушевленных и одушевленных агентов обладает правилами, которые будут влиять на их поведение и отношения с другими агентами и/или окружающей их средой. Один набор правил может применяться ко всем агентам, или каждый агент (или категория агентов) может иметь свой собственный уникальный набор правил. Правила обычно основаны на операторах «if-else», когда агенты выполняют действие после выполнения указанного условия. Правила также могут применяться без учёта действий других агентов.

Основные преимущества агент-ориентированного моделирования:

- позволяет выявить возникающее явление,
- предоставляет описание системы естественным языком,
- имеет очень гибкую структуру.

Возникновение нового феномена или явления в системе происходит в результате взаимодействия объектов системы. Однако свойства и характеристики возникающего феномена могут быть не характерны для частей системы, его создавших, или быть контринтуитивными относительно них.

Агентное моделирование обеспечивает описание процессов натуральным языком, что особенно удобно при моделировании поведенческих процессов: пробка, фондовый рынок, функционировании фирмы, процесс голосования и др. Кроме того, агентное моделирование позволяет полноценно использовать статистические данные, симулируя виртуальных агентов на их основе, а не усредненные синтетические значения для данного распределения. Гибкость агентного подхода выражается в низких издержках на изменение описания системы. Агентные модели способны описать любую среду моделирования, вне зависимости от её масштаба. Понятие близости или расстояния, также может быть по-разному определено в зависимости от типа агента и/или модели. Также гибкость данного подхода выражается в низких издержках на изменение параметров модели, имплементацию дополнительных механизмов: возможно добавлять или убирать агентов из модели, как в количественном плане, так и изменять их классификацию, изменять свойства их поведения, степень рациональности, правила взаимодействия, не затрагивая остальные элементы модели.

Специфика пространственных моделей заключается в учёте пространственной привязки. Выделяют как явно пространственные модели, для которых важно соседство, так и пространственные модели, в которых имеется пространственное деление, но не в явном виде. Так, в явно пространственных моделях, влияние на динамику определённого места оказывают непосредственные места-соседи, как правило, чем ближе места-соседи расположены к исходному, тем сильнее их влияние. Для неявно пространственных моделей, влияние на определенное место может оказывать общая динамика системы, а не непосредственные соседи. Одним из наиболее комплексных методов пространственного моделирования является сочетание клеточных автоматов и агент-ориентированного подхода в одной модели. Подмодель клеточных автоматов отражает географическую, биологическую и экологическую сущность моделируемой системы, в то время вторая агентная подмодель моделирует принятие решений человеком. В результате, клеточная модель становится частью окружения агентов, а агенты ведут деятельность в симулированном окружении.

2 Анализ и систематизация основных механизмов и факторов, оказывающих влияние на пространственное развитие российской экономики

2.1 Влияние рынка недвижимости на возможность переезда

2.1.1

Развитой рынок недвижимости влияет на решение о переезде как домохозяйств, так и компаний, заинтересованных в предоставлении доступных и комфортных условий проживания для сотрудников [2]. В литературе качество и стоимость жилья относят к показателю качества жизни. При этом, согласно опросу домохозяйств, выбор места размещения (локации) зависит от показателей, характеризующих качество жизни, а именно: качества недвижимости (housing quality), простоты и удобства перемещений (ease of commuting), наличия аэропорта-хаба для компаний и др. При этом компании принимают решения о выборе локации исходя из анализа издержек и удобств (costs and conveniences), в частности ориентируясь на условия проживания сотрудников: локации с высоким предложением жилья, хорошей транспортной доступностью и досягаемостью от места работы. Компании при выборе локации также обращают внимание на наличие групп квалифицированных в некоторой области знания работников (labor pools), которые могут быть привязаны к конкретной территории [3].

Две характеристики рынка труда, описанные фирмами: (а) перемещение рабочей силы по городам в долгосрочной перспективе; (б) вместо работников, следующих за фирмой, фирма будет следить за работниками, которых привлекают места с удобствами и хорошей погодой (amenities). Переход от трансфер-ориентированной модели ведения бизнеса к ориентированной на трудовые ресурсы [4]: основывать свое решение о местонахождении на доступе к сравнительно недорогим местным ресурсам, а не перемещению из локации в локацию действующих сотрудников.

2.1.2

В предложенной Benenson динамической модели оценки объекта недвижимости принятие решения о переезде моделируется в виде функции от доходов, местных цен на жилье и когнитивного диссонанса [5].

Каждый дом может остаться незанятым/пустым либо занятым агентом А. Для каждого объекта недвижимости определяется набор соседних объектов (англ. neighborhood). Объекты различаются по стоимости, которая обновляется каждый период. Когда агент занимает объект, стоимость дома определяется в зависимости от экономического статуса агента и стоимости соседних домов.

Характеристики агента — его экономический статус и темп роста статуса. Средняя стоимость жилья в городе дает представление об экономической ситуации на рынке

недвижимости в пределах всего города и также влияет на динамику экономического статуса агента. Информация об экономических свойствах данной локации доступна агенту, занимающему объект, и представляет собой среднее экономического статуса соседей и стоимости незанятых объектов недвижимости.

При этом решение о переезде принимается исходя из абсолютного значения разницы экономического статуса агента и доступной информации о данной локации, сформулированного как уровень локальной экономической напряженности (*local economic tension*).

Встроенный «культурный код» (англ. *K-dimensional Boolean cultural code*), который определяет взаимодействие агента с другими агентами, а также его потребление жилья (англ. *residential behavior*). Предполагается, что культурный код может изменяться с течением времени. Если хотя бы один из компонентов культурного кода агентов А и В отличается, то говорят об их культурном различии.

Понятие культурного кода связано с определением локального пространственного когнитивного диссонанса (англ. *local spatial cognitive dissonance*) агента А, занимающего объект недвижимости Н (CD_A^t), рассчитанного, как среднее культурных различий между агентом А и его соседями по формуле.

Пространственное распределение (сегрегация) агентов со схожими культурными характеристиками влияет на поведение агента А. С повышением уровня сегрегации усиливается влияние глобальной структуры города, в частности доступности информации о культурном коде в масштабе города (англ. *global cultural information*). Уровень сегрегации рассчитывается на основе индекса сегрегации Либерсона (англ. *Lieberson's segregation index, LS*) — вероятности агента встретить в окрестности своего жилого объекта другого агента со схожими культурными характеристиками (например, *cultural identity* C_a), т. е. относящегося к той же культурной группе (*culturally homogeneous group*). Уровень *LS*, равный 0,3–0,4, показывает случайное распределение агентов, принадлежащих одной культурной группе А; 0,7–0,8 — агенты одной группы практически полностью занимают одну из жилых территорий.

В каждый момент времени агент А решает, поменять текущую локацию или остаться в ней. Вероятность переезда монотонно возрастает с увеличением локальной экономической напряженности и/или локального пространственного когнитивного диссонанса.

Домохозяйства или жилые объекты могут быть представлены в модели в качестве географических агентов. Домохозяйства принимают решение о переезде (англ. *stress-based relocation decision*) и ищут новый объект недвижимости, используя методологию

случайного поиска, в то время как начальный объект попадает в общий пул недвижимости. Стоимость свободного жилого объекта устанавливается как средняя цена объектов в данном районе/локации, а также дисконтируется (снижается) вследствие долгого пребывания на рынке [6].

2.1.3

В агентном моделировании динамики города функция полезности домохозяйства с учетом плотности населения задается следующим образом. Эффект людности города в заданной локации представлен параболически: агенты предпочитают некое заданное значение плотности соседей S ; малое число соседей, равно как и переполненность снижают их полезность. В то же время качество окружающей (городской) среды, транспортные затраты (на передвижение от данной локации до делового центра) задаются линейно по формуле (1) [7].

$$U_{ij} = \beta_i^E \times E_j + \beta_i^{TC} \times TC_j - (PD - S)^2 \quad (1)$$

где U_{ij} — оценка агентом i полезности, которую он извлечет из выбора места жительства в ячейке j ; β_i^E, β_i^{TC} ;

S — случайные величины с нормальным распределением, квадратичное уклонение которого выбирает пользователь модели, чтобы передать различия между агентами в предпочтениях;

E_j — мера привлекательности среды в ячейке j , которая линейно зависит от годового числа осадков, расстояния до ближайшей реки и расстояния до береговой линии;

TC_j — мера транспортных издержек, которая определяется расстоянием до центрального делового района;

PD — плотность агентов в ячейке.

2.1.4

Предложение на рынке жилья составляют наличные объекты недвижимости и новые объекты, строительство которых осуществляется ввиду положительного шока со стороны спроса. Согласно Мейеру и Сомервиллю (2000), строительство нового жилья представляет собой одномоментное событие (one time-event)¹ и начинается при

¹ Что имеет смысл в случае однократного притока населения (unexpected one-time influx of population).

необходимости размещения новых жителей. Уровень инвестиций в жилье (старт, s_t) определяется как функция от (изменения) цены недвижимости, реальной ставки процента, затрат на строительство [8] по формуле (2):

$$s_t = g[\Delta p_t, \dots, \Delta p_{t-j}, \Delta r_t, \Delta r_{t-1}, \Delta c_t, \Delta c_{t-1}] \quad (2)$$

где s_t — строительство нового жилья в периоде t ;

Δp_t — изменение цен на жилье в периоде t (отражает величину шока со стороны спроса);

Δr_t — изменение в период t реальной ставки процента;

Δc_t — изменение издержек строительства нового жилья за период t ; аналогично для изменений других периодов.

В базовое уравнение может быть также включено среднее количество дней, в течение которого недвижимость остается на рынке до момента ее продажи: увеличение времени до продажи сигнализирует о медленно развивающемся рынке, что отрицательно влияет на уровень инвестиций.

2.1.5

Доли расходов на жилье и транспорт являются наиболее многочисленными в структуре расходов домохозяйств. В Соединенных Штатах средняя доля расходов на жилье и транспорт составляет 24 % и 17 %, во Франции — 27 % и 13,5 % соответственно. Временные затраты на поездки на работу в течение года в среднем оцениваются в 3–6 недель рабочего времени (для жителя Манхэттена). Кроме того, расходы на жилье сильно различаются в зависимости от размера и состава городов по причинам, которые не зависят от качества структуры жилья [9].

В основе выбора домохозяйствами объекта недвижимости и способов передвижения лежит максимизация их полезности. Например, в пространственной модели моноцентричного города (модель Алонсо (1964), англ. bid-rent theory, household allocation problem) домохозяйства максимизируют полезность от потребления земли для строительства жилья (англ. land for housing) и потребления иных товаров, расстояния до делового центра при бюджетном ограничении, специфицированном как доход за вычетом общей стоимости земли (цена единицы земли, умноженная на потребленное количество), транспортных издержек на передвижение, расходов на потребление иных товаров. В модели Джонсона (1966) бюджетное ограничение представлено в виде ограничения времени на работу, передвижение и отдых, а функция полезности — потребления недвижимости, иных товаров, расстояния и отдыха. Общим принципом моделей bid-rent

theory является моделирование выбора локации как компромисса между снижением цены за единицу жилья и земли и растущими затратами на поездку на работу, которые связаны с проживанием вдали от центральной зоны занятости (делового центра). С помощью данных моделей был объяснен парадокс пространственного распределения в США домохозяйств с различными уровнями доходов: домохозяйства с более низким уровнем доходов выбирали сравнительно дорогие локации ближе к центру города, в то время как наиболее состоятельные домохозяйства — удаленные пригородные районы, что связано с предпочтением больших жилых площадей и готовностью оплачивать высокие транспортные расходы на передвижение до работы [10].

При выборе локации домохозяйства также ориентируются на цену недвижимости и её характеристики: новый объект недвижимости должен представлять собой улучшение и максимизировать полезность. Цена формируется исходя из числа свободных объектов недвижимости, характеристик объекта и района (окружения). В случае повышенного спроса на объекты недвижимости в данной локации и роста цен домохозяйства могут переключаться на другие варианты в порядке убывания приоритета, например, по транспортной доступности, что ведет к удалению от делового центра и т. д. [11].

В случае моноцентричного представления города, плотность населения экспоненциально убывает с ростом расстояния от центра города. Согласно условию, сформулированному Ричардом Муттом (англ. Muth's condition), цена недвижимости также необходимо снижается с увеличением расстояния. В ситуации равновесного пространственного распределения домохозяйств по объектам недвижимости падение стоимости объекта недвижимости по мере удаления равноценно увеличению транспортных расходов на перемещение [12; 13]. Содержательным выводом из проведенных исследований является следующий: домохозяйство будет выбирать ту локацию, где предельная экономия от выбора наименее дорогой земли будет превышать предельные транспортные издержки по формуле (3) [10]:

$$-qP'(t) > k'(t) \quad (3)$$

где $qP'(t)$ – предельная экономия (англ. marginal savings);

$k'(t)$ - транспортные издержки.

Решения по выбору локации и объекта недвижимости, а также приобретению личного автомобиля и способу передвижения к месту работы, составляющие некую условную группу решений о мобильности (англ. mobility bundle), могут приниматься

домохозяйством совместно (одновременно) или поочередно. В соответствии с этим может быть составлена следующая типология моделей:

- Одномерные: включают только один аспект, как выбор объекта недвижимости или приобретение личного автомобиля, формула (4):

$$\text{Utility} = f_1(\text{location attributes}) + f_2(\text{income remaining after location expenses}) + \varepsilon, \quad (4)$$

где *Utility* — полезность;

location attributes — свойства района;

income remaining after location expenses — остаток дохода после оплаты связанных с выбором района расходов;

ε — случайное отклонение.

- Последовательные: выбор локации, затем — объекта недвижимости, после — принятие решения о приобретении личного автомобиля;

- Совместные: по крайней мере два аспекта решения о мобильности принимаются одновременно

2.2. Отраслевая структура фирм

Фирмы делятся на отрасли, путём присвоения новой характеристики. Возможна разная детализация:

- 2 сектора — производство и сфера услуг,
- 17/21 отрасль по разделам ОКВЭД.

Работники также имеют профессиональную (отраслевую) принадлежность, соответствующую изначальной структуре занятости. Дети/новые люди получают отраслевую принадлежность, либо с вероятностями, соответствующими сложившейся структуре занятости в регионе, либо в соответствии со структурой имеющихся открытых вакансий. Обзор способов включения в модель отраслевого признака приводит таблица 1.

Таблица 1 - Обзор способов включения в модель отраслевого признака

№	Краткое описание механизма	Развёрнутое описание	Как моделировать	Источник
1	Изменение структуры занятости при прочих равных увеличивает валовый поток миграции	Не только валовое изменение занятости влияет на миграцию, но и изменение её структуры. Сокращение доли отрасли в региональной экономике приводит к миграции работников в другие регионы в свою отрасль. Повышение доли отрасли в региональной экономике, напротив приводит к притоку мигрантов из других регионов.	Профессиональная принадлежность агентов, без возможности её смены в краткосрочном периоде	Matsukawa (1991) [14]
2	При сокращении маятниково-мигрирующий работник ищет работу в регионе проживания		Работники с маятниковой миграцией при сокращении сначала (?) ищут работу в своём регионе. 1. Либо жесткое ограничение, что работник в течение нескольких периодов ждёт вакансию в своём регионе 2. Либо некоторая нематериальная надбавка, учитываемая при поиске работы для вакансий региона проживания	Morkutè, Koster и Van Dijk (2017) [15]
3	Переход в смежную отрасль при длительной безработице		Если работник не находит работу в течение n времени, то он переходит в смежную отрасль (другую отрасль в рамках сектора производства или услуг)	Morkutè, Koster и Van Dijk (2017) [15]
4	Работа с вахтовым режимом	Добавляет краткосрочную рабочую миграцию в регионы крайнего севера.	В районах крайнего севера доля вакансий имеет особые характеристики: - ограниченность во времени - ЗП выше способностей работника - Нет издержек, связанных со сменой места жительства, но должны быть издержки на переезд - дополнительные издержки (нематериальные (?)), связанные с плохими природными условиями при принятии решения о вакансии	
5	Тяготение высокотехнологичных отраслей к крупным агломерациям	Высокотехнологичные отрасли получают преимущество в крупных агломерациях от большого пула высококвалифицированных работников. Также характерно для сектора услуг, но с точки зрения большего рынка сбыта.	Два варианта моделирования: 1. Больше вероятность появления фирмы с ростом размера города 2. Чем больше город, тем больше мат. ожидание прибавки доходов у фирм	Black и Henderson (1999) [16]
6	Тяготение отраслей сектора производства к концентрации	У отраслей сферы производства наблюдается их тяготение к концентрации ввиду экономии на транспортных издержках между элементами производственных цепочек, что приводит к их пространственной концентрации.	С ростом разнообразия производственных отраслей в регионе увеличивается либо вероятность появления новых, либо больше мат. ожидание прибавки доходов у имеющихся фирм.	Black и Henderson (1999) [16]
7	Фирмы стремятся к повышению продуктивности	Цель данных механик — увеличение мобильности работников, в результате чего будет быстрее происходить адаптация зарплат к объему ресурсов в экономике, и снижается количество открытых вакансий.	Фирма периодически принимает решение об увольнении работников, если их производительность на $k\%$ меньше средней	
8	Работники ищут большую зарплату		После n периодов работник заново оценивает открытые вакансии в своей отрасли и может менять работу ввиду повышения своей квалификации, зарплатных ожиданий.	

Источник:

составлено

авторами.

2.3 Экологические эффекты, качество городской среды

2.3.1

Качество городской среды, а также характеристики окружающей среды являются значимым фактором, определяющим выбор домашними хозяйствами (а в некоторых случаях и фирмами) размещения в той или иной жилой зоне. В современных моделях выбора резидентом места жительства и моделях землепользования агенты-потребители гетерогенны с точки зрения предпочтений касательно места проживания и обращают внимание не только на близость участка к центральному деловому району (как это принято в классической теоретической модели фон Тюнена — Алонсо), от которой зависит величина их издержек на передвижение от места жительства до места работы. Потребители также учитывают наличие благоустроенной природной окружающей среды (“environmental amenities”) и иных городских удобств, которые определяют качество жизни в городе (“urban quality of life”) и влияют на полезность от пребывания в том или ином месте.

2.3.2

Факторы городской среды, влияющие на жизнь в городах и часто используемые в исследованиях с применением неоклассической пространственной модели общего равновесия, представлены в таблице 2:

Таблица 2 — Компоненты качества городской среды в исследованиях зарубежных авторов с использованием неоклассической пространственной модели общего равновесия

Авторы	Страна	Показатели качества городской жизни
Blomquist и др. (1988) [17]	США	Осадки, влажность воздуха, количество дней с теплой и прохладной температурой, скорость ветра, наличие береговой линии, количество жестоких преступлений на 100 тыс. чел., отношение количества учителей к количеству учеников, видимость (количество загрязняющих частиц в воздухе), точки фонда борьбы с химическими загрязнениями окружающей среды.
Shapiro (2006) [18]	США	Число ресторанов на душу населения, количество серьезных преступлений, расследуемых ФБР, численность людей без полного среднего образования, количество дней, когда индекс качества воздуха Агентства по охране окружающей среды США превышал 100 ед.
Albouy (2016) [19]	США	Процент населения с высшим образованием, индекс регулирования землепользования городскими жителями Wharton ² , количество дней с положительной и отрицательной температурой, количество солнечных часов, угол наклона местности, расстояние до береговой линии, широта.

² The Wharton Residential Land Use Regulatory Index — индекс, предложенный Gyourko и др. (2008) [56], который отражает строгость регулирования в области развития недвижимости и состоит из 11 компонент, характеризующих местное политическое давление, степень вовлеченности правительства в регулирование землепользования, одобрение изменения зонирования и т. д.

Продолжение таблицы 2

Авторы	Страна	Показатели качества городской жизни
Colombo и др. (2014) [20]	Италия	Осадки, максимальная температура в январе, влажность воздуха в июне, дамми-переменная для наличия у города побережья, площадь зеленых насаждений, чистота воздуха, соотношение числа учителей и учеников, индекс транспортной инфраструктуры ³ , индекс культурной инфраструктуры ⁴ , количество преступлений на 1 тыс. жителей, уровень безработицы, плотность населения.
Zheng и др. (2009) [21]	Китай	– Природные удобства: индекс комфортности температуры. – Общественные удобства: число докторов на 1 тыс. жителей города, среднее количество лет обучения в школе. – Экология: выбросы диоксида серы по отношению к ВВП, площадь зеленой территории на душу населения, протяженность дорог на душу населения.
Berger и др. (2008) [22]	Россия	– Городские удобства: загрязненность воздуха и воды, количество телефонных линий на душу, количество врачей на 100 чел., преступность, число лет обучения в школе. – Региональные удобства: температура воздуха в теплые периоды, количество дней с положительной температурой, осадки, осадки при отрицательной температуре, этнические конфликты, МРОТ. – Транспорт: время, затрачиваемое на поездки на работу и с работы, доступность общественного транспорта, ежегодное число пассажиров в общественном транспорте.

Примечание — Составлено авторами на основе перечисленных исследований.

³ Индекс транспортной инфраструктуры отражает доступность авиационного, железнодорожного и автомобильного транспорта.

⁴ Индекс культурной инфраструктуры характеризует наличие в городе музеев, кинотеатров, театров и т. п.

Продолжение таблицы 2

Согласно классификации Huang и др. (2014) [23], блок отличительных характеристик районов какой-либо местности в пространстве, оказывающих влияние на поведение агентов разных типов, часто включается в следующие модели АОМ, приведенные в таблице 3.

2.3.3

Примерный эскиз комплексной модели АОМ, включающий перечисленные выше блоки, представлен на рисунке 1.

Агенты: домашние хозяйства, фирмы, застройщики, государство.

Выбор домашним хозяйством места жительства.

Агенты-потребители (домашние хозяйства) гетерогенны в своих предпочтениях касательно недвижимости и получают неодинаковую полезность от потребления блага, зависящего от размещения в пространстве. Таким образом, часто в моделях выбора резидентом места размещения или объекта недвижимости агенты перемещаются между локациями, максимизируя свою полезность от пребывания в конкретном месте.

Таблица 3 — Примеры различных АОМ моделей, содержащих блок качества городской среды и состояния экологии

Модель	Описание	Моделирование	Исследования
Модель выбора резидентом недвижимости (“Residential choice model”)	Два вида землепользователей — домохозяйства и фермеры — формируют цены покупателей и цены продавцов на земельные участки в зависимости от их характеристик. В ходе переговоров формируется «истинная» цена земли, по которой осуществляется транзакция по передаче прав собственности на землю.	Функция полезности домашнего хозяйства от пользования участком зависит от характеристик участка и его близости к центральному деловому району города. В функции ожидаемой полезности также заложен фактор вероятности наводнения.	Filatova и др. (2009) [24]
Модель землепользования (“Land-Use model”)	Участки земли покрыты различным типом покровов, которые обладают характеристиками: плодородностью, типом зданий (коммерческая или жилая недвижимость, объекты промышленности), степенью озеленения. Домашние хозяйства по-разному оценивают качество проживания в каждой клетке земли в зависимости от доступности магазинов, шумового загрязнения и т.п. и принимают решение о заселении. Существуют разные типы застройщиков, которые могут изменять тип зданий в клетке. В модели прослеживаются процессы расселения и застройки участков с пустующими зданиями или незастроенными участками.	Факторы различных типов участков — наличие высокоплодородной земли, шумового загрязнения, доступности озелененных территорий, а также доступности транспорта и магазинов — влияют на воспринимаемое жителями качество жизни на данном участке.	Robinson и др. (2012) [25], Murray-Rust и др. (2013) [26]
Модель расширения городской территории (“Urban expansion model”)	3 типа агентов: резиденты города, крестьяне и представители власти. Органы власти могут с какой-то долей вероятности расширить площадь города. Городские жители делятся на постоянных и новых и являются двигателем разрастания города, выбирая клетку размещения с максимальной для себя полезностью. Крестьяне принимают решение о переезде исходя из 10 характеристик местности.	Функция полезности городских жителей от участка зависит от его стоимости, транспортной доступности и природной ценности. Характеристики окружающих земель определяют вероятность крестьян переехать на новый городской участок и покинуть прежний.	Zhang и др. (2010) [27]
Модель сокращения города (“Urban shrinkage model”)	В блоке «Пространство» каждая клетка города описывается характеристиками, отражающими условия проживания (уровень преступности, безопасность, торговые центры и т.д.). В блоке «Принятие решения» домохозяйство в зависимости от своих свойств (возраст, число человек в семье, бюджетных ограничений) принимает решение о переезде, сравнивая привлекательность текущего места жительства с возможным. Если жилье в течение нескольких периодов остается невостребованным, оно сносится.	Горожанами максимизируется функция полезности от нахождения на старом участке и от переезда на новый, и на основе разности показателей принимается решение о переезде.	Haase и др. (2010) [28]
Модель для выработки налоговой политики	На рынке товаров потребители выбирают товары фирм, на рынке труда фирмы в зависимости от их расположения нанимают сотрудников, на рынке недвижимости приобретается жилье, в которое въезжает семья в зависимости от качества жилья и уровня доходов семьи. Правительство собирает налоги с потребителей и инвестирует их в объекты, которые повысили бы качество жизни резидентов. В следующем периоде происходит обновление рынка жилья.	Качество жилища зависит не только от его размеров и иных его характеристик, но и от качества жизни в районе. Правительство собирает налог с потребителей для последующего инвестирования в городские удобства.	Furtado и Eberhardt (2016) [29]

Примечание — источник: составлено авторами на основе перечисленных исследований.

Домохозяйства меняются с течением времени (часть агентов стареет, рождаются дети и т. п.), тип домохозяйства и возраст его агентов определяют запросы недвижимости. Для каждого типа домохозяйства описаны предпочтения касательно цены съёма, типа дома (год постройки, вилла/квартира и т. д.), наличия в определенном радиусе спортивных сооружений, парков, садов, леса, открытого пространства, водных источников, преступности, школ, магазинов, дорог и общественного транспорта, а также плотности застройки.

Домохозяйство переезжает в место \vec{y} , если оно более привлекательное по сравнению с \vec{x} и если агент проживает в текущем месте какое-то определенное время T_j . Таким образом, если время после последнего переезда агента превышает T_j лет, то для агента создается список более привлекательных мест M по сравнению с текущим (эти локации проранжированы) по формуле (5):

$$M_j(\vec{x}) = \{\vec{y}_i, i = 1, 2, \dots \mid A(\vec{y}_i) > A(\vec{x}), A(\vec{y}_i) > A(\vec{y}_{i+1}), i = 1, 2, \dots\} \quad (5)$$

Если после определенного числа попыток агент не находит места жительства, удовлетворяющего его потребностям, он переезжает в другой город. Впоследствии количество свободных для заселения домов увеличивается по формуле (6):

$$V(\vec{x}, t) = F(\vec{x}, t) - \sum_{j=1}^m H_j(\vec{x}, t) \quad (6)$$

где V — количество свободных квартир в процентах,

F — количество незаселенных квартир в локации \vec{x} в период t .

F может меняться во времени, так как какое-то количество домов сносится, если они пустуют в течение 5 лет, так как затраты на их поддержание и ремонт превысят арендные платежи новых домохозяйств. Таким образом, город может сокращаться в размере.

Агент (домашнее хозяйство) будет изначально случайным образом заселён в город или район. Переезд агента происходит, если существует новый район проживания, который не ниже по уровню комфорта текущего места проживания, и бюджет покрывает расходы на покупку нового дома или переезд по формуле (7):

$$\text{Move, if } \begin{cases} \text{Quality_New} \geq \text{Quality_Goal} \\ \text{Quality_New} \geq \text{Quality_Current} \\ \text{Budget} \geq \text{House_Price_New} \end{cases} \quad (7)$$

По прошествии времени T агент также переезжает, даже если текущее место его полностью удовлетворяло, формула (8):

$$\text{Move, if } \sum t = T \ \& \ Flat = vacant \quad (8)$$

Если агент не находит недвижимости с окружением, соответствующим его целевому значению комфортности, то агент переезжает в другой город, формула (9):

$$\text{Migrate, if } \text{Quality_Current} < \text{Quality_Goal} \quad (9)$$

Также необходимо обращать внимание на достаток семьи. То есть если доход конкретной семьи ниже медианного, то они получают статус бедных и заселяются в самые дешевые дома.

Согласно Naase и др. (2010) [28], население города может пополняться не только из-за рождения людей, но и вследствие миграции в город или из города. В модели рождаемость зависит также от возрастного состава женской части населения и их средней фертильности. Как было указано выше, агенты переезжают в другой город, если местные удобства не соответствуют их запросам, а в другом городе обнаруживается подходящий вариант (по уровню удобств и уровню арендной платы).

Ещё одной причиной переезда может стать смена работы.

Индивид может предпринять решение о миграции в другой город, если, например, издержки на дорогу от дома до работы слишком высоки (см., например, Naas и Osland (2014) [30]).

Решение застройщика об использовании земли и строительстве недвижимости.

В рамках модели землепользования Robinson и др. (2012) [25] и Murray-Rust и др. (2013) [26] девелоперы опрашивают домашние хозяйства об оценке качества каждой локации с точки зрения ее характеристик, создавая «поверхность предпочтений». Девелоперы обладают разной скоростью застройки земли и могут застраивать клетки в зависимости от типа земли жилой, коммерческой или промышленной недвижимостью, а также оставлять клетку пустой (на ней располагается либо открытое пространство, либо лес). Помимо земли для застройки разными типами зданий существует центр города,

в котором располагаются магазины и общественный транспорт, заболоченная местность, земля с источниками воды, земля с ископаемыми и высокоплодородная земля.

Оценивая с помощью логистических регрессий наиболее привлекательные места для расположения определенных типов объектов (для промышленной и коммерческой недвижимости) или используя данные опросов (то есть карту предпочтений касательно качества жизни в случае жилой недвижимости), девелоперы каждого типа создают новые жилые зоны с необходимыми для жителей характеристиками. Каждая регрессия оценивается на данных использования земли в 2000 и 2007 гг. для промышленных, коммерческих девелоперов или девелоперов, не развивающих землю с помощью застройки. В итоге для первого типа девелоперов независимыми переменными в регрессии являются площадь промышленного района, площадь открытого пространства, площадь заболоченной местности, расстояние до других промышленных клеток и от местных дорог; для второго типа — площадь земли для коммерческого или сельскохозяйственного использования, площадь открытого пространства, расстояние до других коммерческих клеток, расстояние от основных дорог; для третьего — площадь леса, расстояние до сельскохозяйственных земель, до леса, высота над уровнем моря. После этого каждый незаселенный житель размещается в клетке, приносящей наибольшую полезность среди всех доступных для проживания территорий.

Согласно модели сокращения города Naase и др. (2010) [28], девелопер сносит дом в случае, если он пустует в течение какого-то времени, то есть город может как расширяться, так и сжиматься с течением времени.

Создание шума.

Согласно Murray-Rust и др. (2013) [26], одним из последствий размещения фирм определенного типа на местности может быть шумовое загрязнение, то есть каждая категория земли и построенного на ней объекта создаёт определенный уровень шума, который распространяется на соседние локации. Земли для промышленного использования, для размещения коммерческих объектов (магазины), сеть автомобильных и железных дорог, а также морские порты являются источниками шума. Уравнение (10) распространения шума [31]:

$$L_{\text{new}} = L_{\text{orig}} - 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{d_{\text{new}}}{d_{\text{orig}}} \right) \quad (10)$$

где L_{new} — уровень децибелов в новом месте,

L_{orig} — уровень децибелов в источнике шума,

d_{orig} — расстояние от источника шума.

Если происходит наложение шума от нескольких объектов, то общий уровень шума равен по формуле (11):

$$L_T = 10 \cdot \log_{10} \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_m}{10}} \right) \quad (11)$$

Далее составляется карта шума, которая снижает полезность домашних хозяйств от проживания в конкретном месте.

Загрязнение окружающей среды.

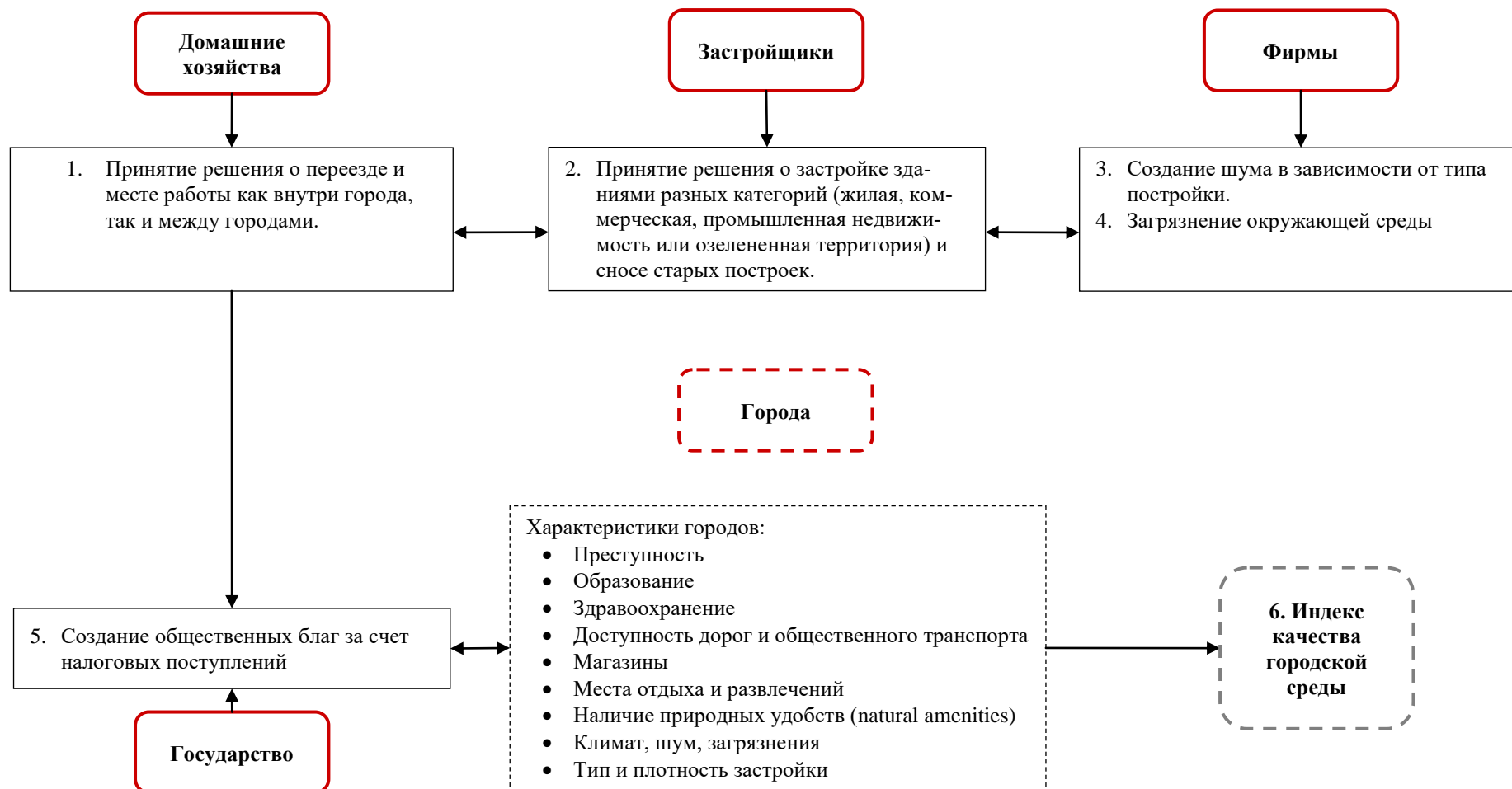
Фактор загрязнения окружающей среды в различных АОМ закладывается либо через производственную деятельность фирм, либо через интенсивность трафика в городе. Так, в модели города Wagner и Wegener (2007) основной упор сделан на детальном дизайне транспортного модуля, в котором происходит перевозка пассажиров и грузов в зависимости от ежедневной активности агентов, их планах на неделю и т. д. [32]. В модуле окружающей среды происходит расчет выбросов газов и последующего ухудшения качества воздуха в зависимости от категорий транспорта и интенсивности их движения. Эта информация далее поступает в модель землепользования (в нашем случае это пункты 1 и 2), в которой происходит застройка локаций девелопером и выбор агентом места проживания.

Создание общественных благ, увеличение качества окружающей среды за счет налоговых поступлений.

В модели Furtado и Eberhardt (2016) государство, действуя как отдельный агент, на собранные с фирм налоги на прибыль и налоги на загрязнение окружающей среды возмещает часть недостающих городских удобств для повышения качества жизни в городских зонах [29]. Однако стоит помнить о том, что увеличение городских удобств может привести к удорожанию застройки. Подобный вид налога был также предложен в модели Filatova и др. (2011) [24].

Ошибка! Источник ссылки не найден.

Примерный план АОМ городов с блоком качества городской среды



Примечание — источник: составлено авторами.

Рисунок 1 — Возможный план взаимодействия агентов в АОМ модели с учетом элементов качества городской среды.

2.4 Факторы принятия решений о переезде внутри страны

Для выявления факторов, влияющих на решение о переезде внутри страны, нужно разделить миграцию на несколько видов. Миграция агентов может осуществляться внутри города, из прилегающих к городу сёл в города и обратно, а также между городами. Упомянутые в предыдущих разделах модели и теории могут частично выявить причины и механизмы принятия решения о миграции между разными территориальными объектами страны.

Миграция между районами города может быть объяснена в рамках упомянутых в прошлом разделе модели выбора резидентом недвижимости или модели землепользования (см. статьи Filatova и др. (2009) [24], Robinson и др. (2012) [25], Murray-Rust и др. (2013) [26]). В них основным фактором переселения агента становится максимизация полезности в зависимости от свойств участка земли. Второе объяснение подобной межрайонной миграции может служить также модель фон Тюнена — Алонсо, которая объясняет, как формируется город в пространстве и за счет чего происходит географическое размещение домашних хозяйств и фирм. Согласно теории, существует центральный деловой район города, вокруг которого живут рабочие. Возникает конкуренция за недвижимость, вследствие чего цена и спрос на нее изменяется в зависимости от близости к ядру, т. е. величины издержек на проезд от жилья до места работы.

Миграция между городской и сельской местностями может быть связана с разными циклами развития города: ростом городов за счет сельской местности, сокращением города, расширением города, джентрификацией. В изложенной ранее АОМ расширения города Zhang и др. (2010) [27] помимо городских жителей появился также другой класс агентов — крестьяне, которые стремились расположиться как можно в ближе к городской черте, но в то же время не хотели потерять собственный земельный участок. Значимым фактором, влияющим на прирост или сокращение земельных участков, в такого вида моделях является поведение планировщика, который регулирует землепользование, освоение новых земель, застройку участков новыми зданиями или снос старых.

Неоклассическая теория, объясняющая миграцию типа «село — город», заложена в работе Harris и Todaro (1970) [33], в которой индивид, принимая решение о миграции, сравнивает не только ожидаемые заработные платы в селе и городе, но также оценивает вероятность не найти работу в соответствии с уровнем безработицы. С помощью этой теории была предпринята попытка объяснить высокую миграцию из села в город при высокой безработице в городе. Согласно теории, экономика состоит из 2 секторов: аграрного (предприятия размещены в селе) и промышленного (предприятия размещены

в городе). Работники могут свободно передвигаться между селом и городом, не неся при этом транспортных издержек.

Таким образом, мигрант, сравнивая имеющийся у него гарантированный заработок с ожидаемым уровнем заработной платы в городе, переезжает даже с учетом ненулевой вероятности остаться безработным. Равновесная ситуация, согласно модели, будет достигнута, когда ожидаемые доходы в обоих секторах сравниваются с учетом неформального сектора и при полной безработице.

Оценки расширенной версии модели Харриса — Тодаро на данных Польши в работе Ghatak и др. (2008) [34] показали, что значимыми факторами миграции между регионами являются ВРП на душу населения, расстояние между регионами и безработица. В то же время фактором, препятствующим высокой мобильности населения, является плохая обеспеченность жилищным фондом. В работе Chen и Coulson (2002) [35] ключевым фактором миграции в Китае в конце 90-х гг. 20 в. являлась структура занятости населения в городе: наибольшие потоки мигрантов оказались в городах с высокой долей частного бизнеса, а также с высокой долей занятых в секторе услуг и промышленности.

В исследовании Вакуленко (2012) [36] в качестве теоретической основы выступает также расширенная модель Харриса — Тодаро, которая оценивалась на данных для городов Центрального и Сибирского федеральных округов в 2004–2008 гг. Модель оценивалась на нескольких подвыборках: сначала общая выборка делилась в зависимости от численности населения в городах, затем по миграционной привлекательности, то есть по знаку коэффициента миграционного прироста. В качестве объясняемой переменной выступил показатель коэффициента миграции (количество прибывших мигрантов за вычетом выбывших на 10 тыс. населения). В модели были использованы следующие объясняющие переменные: среднемесячная заработная плата работников, среднемесячная заработная плата работников по отношению к прожиточному минимуму, уровень безработицы (число зарегистрированных безработных в службах занятых по отношению к сумме среднесписочной численности работников и числа зарегистрированных безработных), оборот розничной торговли (индикатор экономической активности, ввод жилья (тыс. кв. м на 10 тыс. населения), удельный вес убыточных организаций по всем видам деятельности, численность врачей, общая площадь жилых помещений на одного городского жителя, показатель недоступности жилья (цена одного квадратного метра к среднемесячной заработной плате работника), численность студентов вузов и сузов (учебная миграция), а также число культурно-досуговых учреждений.

Согласно оценкам по данным городов ЦФО, показатель заработной платы является самым значимым фактором миграции для городов всех уровней. Показатель уровня

зарегистрированных безработных оказался важным только для городов с численностью населения ниже 100 тыс. чел. Объем розничной торговли оказался значимым для больших городов ЦФО, оказывая положительный эффект на прирост миграции. Коэффициент недоступности жилья отрицательно ассоциируется с миграционным потоком только для крупнейших городов (за исключением Москвы), то есть недостаточная доступность жилья выступает барьером для внутренней мобильности населения. Показатель ввода жилья оказался значимым для средних и крупных городов ЦФО. В случае оценок данных СФО уровень зарегистрированной безработицы оказался значимым для всех размеров городов, то есть безработица выступает фактором оттока миграции. Объем розничной торговли также положительно ассоциируется с миграционным приростом. Тем не менее, в отличие от оценок для ЦФО, влияние средней зарплаты незначимо.

Интересным результатом исследования является разное влияние заработной платы на миграцию для городов с оттоком и с притоком миграции. Более высокая заработная плата приводит как к оттоку, так и к притоку миграции в регионы, в исследовании подтверждается наличие «ловушек бедности» для мигрантов. Вакуленко (2012) делает вывод о том, что «... миграция не выполняет функцию сглаживания межрегиональных различий, поскольку в основном происходит между успешными регионами» [36].

2.5 Переключение населения между различными видами транспорта

Выбор транспортных услуг и места проживания имеет двустороннюю связь. Во-первых, местоположение жилого района, его доступность и удаленность определяют предпочтения домохозяйств относительно режима/способа перемещения между различными видами транспорта. В связи с этим модели типа LUTI (land-use-transport interaction) должны учитывать изменение доступности локации вследствие изменений характеристик рынка жилья (ввода новых зданий) и следующего за этим изменения в выборе режимов перемещений [11].

Во-вторых, при выборе локации домохозяйства также ориентируются на качество транспортной сети и предлагаемых транспортных услуг, однако роль транспорта при оценке потенциального места проживания мала по сравнению с социально-экономическими, демографическими и иными факторами. То же характерно и в случае анализа распределения фирм, ориентированных на минимальный уровень общих транспортных расходов и местные рынки труда (labor pools) при выборе локации. Однако выбор локации непосредственно влияет на решения, связанные с владением личным автомобилем [37].

2.5.1

В симуляциях применительно к моделированию выбора способа перемещения в качестве единиц наблюдения задаются индивиды или домохозяйства. Один из способов представления городского района — это разбивка его на небольшие географические зоны, т. н. зоны анализа перемещений/поездок (travel analysis zones). Каждая зона имеет свои показатели плотности населения, занятости и т. д. Размер зоны зависит от характеристик района: районы с высокой плотностью делятся на n -количество небольших зон, с низкой плотностью — на более крупные. Кроме того, внутри каждой зоны принимаются решения о поездках, выборе способа перемещения, осуществляются поездки (удовлетворяется потребность в поездках). Поездки начинаются в центре активности — центроиде — каждой зоны и проходят по сети, состоящей из ребер и узлов, которые представляют транспортную сеть: сегменты автомагистралей, линии общественного транспорта. При моделировании ребер учитывается информация о времени поездки, средней скорости, пропускной способности; при моделировании узлов — количество пересечений для расчета задержки транспортного потока на пересечениях, координаты и др.

Перемещения начинаются в зоне «генерации поездок», проходят по сети и заканчиваются в зоне притяжения трафика. Поездки, которые не начинаются и не заканчиваются в пределах одной зоны, но проходят через нее, считаются транзитными (traffic). Процесс моделирования перемещений представляет собой последовательность из 4 этапов: генерация поездок (на основе данных о плотности населения и территории, а также количестве личных автомобилей во владении в зоне i прогнозируется ожидаемое число поездок из зоны i в зону j); распределение поездок по зонам (на основе гравитационного моделирования, основываясь на знании о плотности населения и расстоянии между зонами); выбор способа/режима перемещения (поездки общественным транспортом, совместные поездки на автомобиле в качестве пассажира или водителя); распределение трафика между различными режимами перемещения.

Выбор способа перемещения видами транспорта осуществляется путем сравнения полезности, получаемой от того или иного режима поездки: время в пути, стоимость, удобство перемещения между пунктом отправления и пунктом назначения [38].

Моделирование выбора способа перемещения разными видами транспорта также проводилось на эмпирических данных для региона Колонь (Франция). Было определено, что решение о режиме перемещения зависит от выбора локации и наличия собственного автомобиля. Во-первых, продолжительность поездки до места работы вероятно зависит от (коррелирует) количества рабочих мест в пределах определенного радиуса вокруг места проживания. Во-вторых, высокий доступ к общественному транспорту

соответствует уменьшению числа поездок на личном автомобиле. В-третьих, существует связь между социальным статусом домохозяйств и выбором режима перемещения: домохозяйства с более высоким социальным статусом отмечают более высокий уровень потребления поездок как на общественном транспорте, так и на личном автомобиле, но в большей степени повышают количество поездок на личном транспорте [39].

2.5.2

Некоторые исследования подтверждают приведенные выше выводы и также показывают, что пригородные зоны «выигрывают» из-за прямого сообщения с центральным деловым районом (моноцентричного) города железнодорожной транспортной сетью в отличие от тех зон, не имевших данного блага. В частности, отмечаются низкий уровень владения собственными автомобилями и более высокая стоимость объектов недвижимости в данных зонах. Кроме того, наблюдается, что высокая доля проживающих в пригородных зонах с доступом к железнодорожной транспортной сети трудоустроены в центральном деловом районе (sorting behavior).

Определено, что склонность домохозяйств к владению личным автомобилем возрастает с увеличением контрольных переменных (дохода и размера домохозяйств) и снижается с улучшением доступности перемещения железнодорожным транспортом. [40]

2.5.3

Выбор режимов перемещения зависит также от сбора за пользование загруженным участком дороги (congestion pricing). Введение сбора влечет к тому, что потребители компенсируют потерю средств переключением на альтернативный вид транспорта, например, с личного автомобиля на общественный транспорт. Соответственно снижается доля поездок на личном автотранспорте и увеличивается доля поездок на общественном транспорте. Помимо переключения на другие виды транспорта сбор также влияет на частоту и направления поездок.

3 Разработка подхода к построению динамической имитационной пространственной модели российской экономики

3.1 Описание подхода к построению модели

Любая имитационная модель начинается с того, что задает начальное состояние моделируемой системы. Затем, применяя набор правил, модель описывает обычно следующие во времени состояния, по некоторым из признаков, которых исследователь судить о качестве модели в целом и точности ее предвидения в частности. Мы предлагаем несколько иной подход. Дело в том, что признаков (показателей и параметров), нужных, чтобы описать начальное состояние системы, намного больше, чем тех, которые затем используют для калибровки параметров модели или оценки качества, основанного на ней научного предвидения. При этом обеспеченность данными, по меньшей мере если речь идет об экономической и демографической статистике для России, обычно лучше для более поздних лет (с оговоркой об избирательном наличии самых последних измерений из-за разных сроков публикации различных наборов показателей).

В силу этого обстоятельства мы предлагаем описывать для имитационной модели начальное состояние системы расселения и начальное же размещение производительных сил по близким ко времени использования модели временным на данным, а именно, например, за 2018 г., а уже после описывать движение в модели от этой начальной точки как в прошлое, так и в будущее.

Начальное состояние задается следующим способом. Вначале всем населенным пунктам присваивается набор признаков:

- Имя (идентификатор);
- Субъект Федерации (его код);
- Муниципальное образование (его код);
- Год;
- Общее число жителей в границах, которые учитывает модель;
- Число жителей в отдельных возрастных группах;
- Цена жилья;
- Цена коммерческой недвижимости;
- Средняя ставка заработной платы в разрезе отраслей (видов деятельности);
- Уровень занятости;
- Отраслевой состав занятых;
- Структура рабочей силы с точки зрения профессиональной группы и образовательного уровня;
- Число предприятий в населенном пункте по видам деятельности;

- Финансовый результат и прибыль предприятий по видам деятельности;
- Уровень цен;
- Показатель комфортности (городской) среды;
- Центральность населенного места, который мы оценили на основе меры гармонической центральности с учетом реальных расстояний по автомобильным дорогам, с учетом числа жителей населенных мест, а также их внутренней неоднородности и разной степени плотности.

Число населенных пунктов ограничивается прежде всего данными о ценах на жилье и коммерческую недвижимость. «Домофонд» в открытых таблицах перечисляет до 855 населенных пунктов, для которых доступны цены о недвижимости. При этом из максимального набора в 855 населенных мест для 455 есть сведения лишь о цене так называемой загородной недвижимости, еще для 8 — только о цене продажи комнат и для 3 населенных мест (Голицына, Лесного Городка и Мосрентгена в Московской области) — только о цене аренды комнат. Скучны и сведения о цене покупки или аренды коммерческой недвижимости: в разрезе отдельных населенных такой показатель есть только для 15 крупных городов, так что приходится оценивать издержки на нетрудовые расходы предприятий по остаточному принципу, вычитая оцененный по страховым взносам фонд заработной платы.

Особую составную часть имитационной модели представляет дорожная сеть. Ее признаки — это затраты времени на поездку в легковом автомобиле из каждого населенного места до всех других населенных мест. Затраты времени на поездку по самому населенному месту оцениваются методом Монте-Карло как среднее затрат времени на поездку в автомобиле между большим число случайных пар точек в границах населенного места. Мы выстроили дорожный граф таким способом, что рёбра в нем — это прямые дорожные связи: такая существует между парой населенных пунктов, если между ними есть такой маршрут, который не проходит через какое-либо другое населенное место. Исключение составляют ребра, представляющие средние затраты времени на внутригородские поездки: такие рёбра образуют в графе петли и при пересчете расстояний *между* населенными пунктами (например, после строительства скоростной дороги) учитываться не могут в силу особенностей алгоритмов поиска кратчайших путей.

После того, как для имитационной модели указаны свойства населенных пунктов, эти места, согласно заданным критериям числа жителей по возрастам и числа работников по отраслям, а также согласно ставкам заработной платы и другим ценам, заполняются популяциями людей и предприятий. Таблица, которая описывает свойства людей как особого вида агентов в модели, дает такие их признаки:

- Идентификатор человека;
- Место жительства;
- Возраст;
- Уровень образования;
- Ожидаемый на основе возраста, уровня образования и опыта работы в некоторой отрасли трудовой доход;
- Идиосинкразическая «ошибка»: отклонение множителя, выражающего ожидаемое отличие физического продукта труда конкретного человека из-за его личных особенностей (одаренности, усердности, здоровья и т. д.);;
- Статус занятости: этот индикатор определяет заполнение ряда следующих признаков:
 - а) Профессиональная группа;
 - б) Связь работы с полученным формальным образованием;
 - в) Место работы;
 - г) Затраты на поездки на работу и обратно;
 - д) Ставка заработной платы;
- Общий уровень потребления;
- Сумма сбережений;
- Баланс доходов и расходов;
- Время последней смены места жительства.

Мы также рассматриваем вариант уточнения модели через прибавку в ней различий в затратах времени на поездки между жителями и одновременно работниками того же населенного пункта. Такое распределение возможно получить за счет оценки опытного распределения затрат времени из реальных оценок расстояний по улично-дорожной сети, взятых из OpenStreetMap с помощью, например, API Open Source Routing Machine — так же или даже из тех же данных, как для оценки средних затрат времени. Однако при таком расширении модели возрастают требования к другим данным, в частности распределению цен недвижимости. Подробные оценки в разрезе районов городов есть только для 15 крупнейших агломераций страны. Кроме того, возникают сложности с учетом наведенного влияния соседних крупных городов, например, если речь идет о пригороде крупного города, выгоднее располагаться у того его конца, который ближе к ядру агломерации.

Работники в модели не образуют семей и в общем случае выступают в качестве условных представительных агентов, которые отражают свойства некоторого множества

людей, зависящего от масштаба модели. Если масштаб не один к одному, то для наполнения городов используется распределение Бернулли, в котором вероятность положительного исхода, то есть появления в модели человека с заданным набором признаков, равна удельному весу таких людей в моделируемой реальной генеральной совокупности (согласно собранным базам данных). При этом общее число испытаний определяется численностью людей в реальности и масштабом модели.

Различия между работниками в оплате их труда зависят от связи между их работой и уровнем образования. Чтобы учесть такую связь, мы предлагаем использовать подход, примененный Ellison и Glaeser в статье 2010 г. для разложения меры коагломерации (то есть размещения производств разных отраслей в том же месте или поблизости, англ. *coagglomeration*) производств различных отраслей на отдельные источники внешних выгод по Маршаллу [11]. Один из таких источников — это выгоды большого рынка квалифицированных работников (англ. *labour market pooling*). Очевидно, что предприятия различных отраслей могут выиграть от большого рынка труда, если работники различных отраслей могут перемещаться между этими отраслями: в противном случае причины размещения производств разных отраслей в одном месте имеют иную природу (например, речь идет о близости поставщиков и потребителей в производственной цепочке). Ellison и Glaeser предложили измерить эту сторону близости предприятий разных отраслей с помощью коэффициента корреляции между вектором долей работников профессиональной группы o в отрасли i и вектором долей работников такой же профессиональной группы o_v отрасли j .

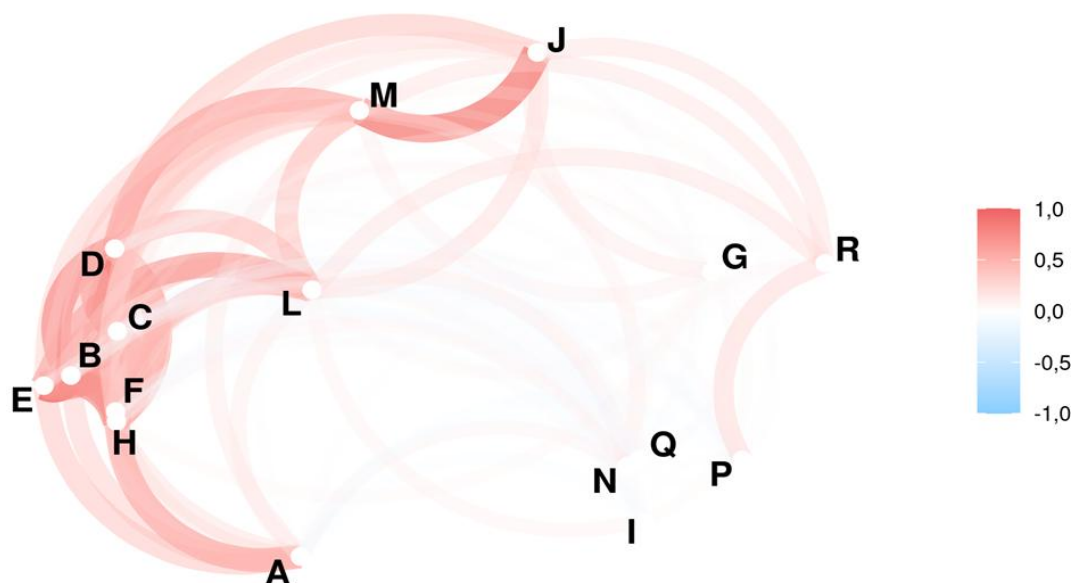
Ellison и Glaeser использовали матрицы, публикуемые американским бюро статистики труда для занятости в Соединенных Штатах Америки (англ. *National Industrial-Occupation Employment Matrix, NIOEM*). Последняя на момент проведения научно-исследовательской работы доступная таблица была отредактирована 4 ноября 2019 г. Американские матрицы перенесли на российские отрасли Aleksandrova, Behrens и Kuznetsova в попытке повторить опыт разложения источники коагломерации Ellison и Glaeser для российских предприятий. Авторы оправдывали применение матрицы, разработанной для другой страны тем, что у связей между отраслями именно технологическая природа, поэтому особенности страны здесь не должны проявляться остро.

В работе имитационной модели американские таблицы могут и не быть предпочтительными. Альтернатива — статистический бюллетень Росстата «Сведения о численности и потребности организаций в работниках по профессиональным группам на 31 октября 2018 г.» (данные проводимого раз в два года выборочного обследования

организаций) или микроданные выборочное обследования рабочей силы. Эти таблицы содержат те же данные и с той же дробностью, что мы используем для задания свойств людей в начальном состоянии имитационной модели, но дробность деления на отрасли может быть слишком мала, чтобы получить содержательно ценные оценки сходства отраслей с точки зрения возможности перетока работников одной отрасли в другую.

Заметим, что в бюллетене «Сведения о численности и потребности организаций в работниках по профессиональным группам на 31 октября 2018 г.» содержатся сведения об удельном весе работников различных профессиональных групп в вакансиях организаций отдельных видов деятельности. Эти данные мы также используем для уточнения структуры вакансий в начальном состоянии имитационной модели.

Наши оценки близости отраслей с точки зрения возможного обмена работниками (а равно и возможной смены людьми разных профессий вида деятельности) представляет рисунок 2. В нём даны оценки корреляции между векторами долей разных профессиональных групп в различных разделах ОКВЭД, представленные в виде графа, у которого прозрачность и ширина ребер пропорциональны коэффициенту корреляции — оценке сходства требований различных отраслей к уровню и типу квалификации работников. Рисунок 2 показывает, что плотный кластер образуют промышленность (разделы В–Е), водоснабжение и сбор мусора (раздел Е), а также строительство и транспорт (соответственно разделы F и H). Работники сельского хозяйства (раздел А) примыкают к этому главному кластеру прежде всего через складское хозяйство в разделе H (транспортировка и хранение). С другой стороны, а именно через энергетику к условно промышленному кластеру примыкают профессиональная научная и техническая деятельность (М) и в меньшей степени деятельность в области информации и связи (раздел J). Примечательно, что между этими двумя разделами, то есть научно-технической деятельностью и деятельностью в области информации и связи, самая высокая корреляция по профессиональному составу работников среди всех других пар видов деятельности — 0,79. Это значит, что обмен работниками между этими двумя видами деятельности особенно лёгок. С профессиональной деятельностью (раздел М) также по профессиональной структуре работников схожи операции с недвижимостью (раздел L). Отдельную, противоположную условно промышленному ядру видов деятельности, группу составляют виды деятельности из прочих отраслей сферы услуг. Из числа этих разделов ОКВЭДа различимую пару образуют прежде всего деятельность в области культуры (раздел R) и образование (раздел P). Прочие виды деятельности, в частности торговля (раздел G) самобытны по профессиональному составу их работников.



Примечание — составлено авторами на основе данных бюллетеня «Сведения о численности и потребности организаций в работниках по профессиональным группам на 31 октября 2018 г.».

Рисунок 2 — Графическое представление сходства разделов ОКВЭДа с точки зрения их требований к рабочей силе в виде взвешенного графа

После того, как созданы таблицы, которые описывают популяцию людей в модели, наступает очередь следующего типа агентов — предприятий. Мы наполнили ими модель, сочетая сведения из открытой бухгалтерской и финансовой отчетности организаций (прибыль, выручка, общая сумма издержек для начального состояния), регистра отчитывающихся хозяйственных объектов и базы данных муниципальных образований (для корректировки на число работников, доходы и финансовый результат не наблюдаемого иначе вклада крупнейших налогоплательщиков) Федеральной службы государственной статистики, реестра СМП и данных о среднесписочной численности работников организаций Федеральной налоговой службы (число работников организаций и самозанятых индивидуальных предпринимателей), ее же таблиц по страховым выплатам (оценка разброса местных ставок зарплаты по видам деятельности). Набор признаков предприятий в имитационной модели включает следующие показатели:

- Идентификатор предприятия;
- Вид деятельности;
- Местоположение, то есть населенный пункт, где работает предприятие;
- Число работников: для небольших предприятий данные берутся из таблиц Федеральной налоговой службы, для крупных — распределяются по отраслям по

остаточному принципу исходя из данных о числе работников в муниципальных образованиях; индивидуальные предприниматели вводятся в модель как предприятия с одним работником;

- Фонд заработной платы;
- Выручка и сумма издержек;
- Капитальные затраты: распределяются между предприятиями как остаток из суммы издержек на оплату труда (фонда заработной платы);
- Прибыль;
- Показатель того, является ли предприятие градообразующим: такие производители получают особенное внимание и поддержку со стороны государства, так как от работы градообразующего предприятия зависит благополучие жителей целых городов;
- Время, в течение которого у предприятия нет работников.

Учет отраслевого признака предприятий позволяет отразить в модели не только свойства местных рынков труда, но и особенности связанных с добычей полезных ископаемых населенных мест, роль которых как в расселении (Север традиционно привлекал возможностью заработка, но удержать людей было непросто), так и в экономике страны. Такой подход к оценке более точный, чем, например, принятое в моделях SIMPOP MARIUS для России включение качественного признака близости города к месторождению.

После определения свойств предприятий обновляются таблицы, описывающие свойства населенных мест и показатели моделируемого населения. Так, для населенных мест вычисляется объем выручки и прибыль, а занятым присваивается идентификатор предприятия.

Последний шаг перед запуском смены состояний по набору встроенный в имитационную модель правил — это задание рынка вакансий. Мы заполняем таблицу вакансий с привязкой к конкретным предприятиям и, стало быть, населенным местам, так, чтобы в итоге мы получали распределение, которое согласуется с выборочными данными обследования Росстата о потребности организаций в работниках различных профессиональных групп по видам деятельности. Мы также стремимся подобрать такое описание рынка вакансий, которое не будет противоречить оценкам напряженности на рынке труда в разрезе субъектов Федерации — с оговоркой о том, что набор населенных мест в модели не исчерпывает всю экономику регионов страны. Для увязки конкретных требования к работникам с действительными наблюдениями мы опираемся на данные о вакансиях, представляемых порталом «Работа в России». В частности, это источник мы

используем, чтобы как можно точнее передать региональные различия в оплате труда работников с тем же (или сходным) набором свойств: прежде всего образовательным уровнем, квалификацией, опытом работы в отрасли, возрастной группой.

Завершается первая крупная ступень в работе имитационной модели, то есть задание ее начального состояния, максимально приближенной к реальности отправной точки, тем, что подготавливаются формы для учета трудовых челночных поездок и полноценных миграций. Далее мы описываем последовательность действий, через которые проходят агенты модели в рамках одного шага. Размер шага определяется конкретными исследовательскими задачами, в частности вопросами разбора различных сценариев, с учетом следующего обстоятельства: чем меньше шаг, тем более дробную, например, сезонную, динамику или пути адаптации системы к переменам возможно описать, но за это приходится платить и более крупным масштабом модели, то есть условный человек в модели будет представлять всё большее множество людей в реальности.

В самых общих чертах в рамках шага агенты в имитационной модели последовательно рассматриваются такие явления:

1) Обновляется набор предприятий: предприятия, которые долгое время терпят убытки и не могут оптимизировать свои издержки за счет сокращения работников закрываются;

2) Предприятия подсчитывают понесенные за прошлый отрезок времени издержки и полученную за то же время выручку (шаг в модели), уплачивают с прибыли налог и получают субсидии (прежде всего градообразующие предприятия);

3) Открываются новые предприятия: с учетом местной отраслевой структуры и прочих благоприятных или неблагоприятных местных условий;

4) Обновляются вакансии: новые предприятия нуждаются в работниках, а действовавшие ранее на рынке производители стремятся укрепить свое положение, используя больший эффект масштаба за счет привлечения всё новых работников; у вакансий обновляется срок и, если долгое время вакансия не была закрыта устройством на работу соискателем, либо изменяются требования к работникам, либо вакансия удаляется с рынка труда;

5) Предприятия, взвесив финансовые результаты прошлого периода и отклик со стороны предложения труда на их вакансии, принимают решение об оптимизации штата: расширяются, упрочивая так свои позиции на рынке и повышая шансы на сохранение деятельности предприятия в дальнейшем, или увольняют работников, если выручка не соразмерна с издержками;

б) Обновляются свойства популяции людей в модели: возраст, от которого среди прочего зависит вхождение человека в модельную популяцию и его положение на рынке труда, объем доходов и расходов — идет составление баланса вроде того, что ранее проделали предприятия;

7) В модель вводится новое поколение людей, которым приходится искать работу;

8) Взвесив ранее свои доходы и расходы, а также приняв во внимание другие условия, люди принимают решение о переезде, в частности о переезде в расположенный поблизости населенный пункт без смены места работы, происходят миграции, обновляются свойства городов и предприятий (что необходимо в случае переезда людей в далеко расположенные населенные места и их увольнения с прежнего места работы); происходит учет миграционных потоков по заготовленным при задании начального состояния формам; для обеспечения преемственности в модели возможно задание миграционных потоков в условном нулевом шаге исходя из реальных наблюдений по миграционным потокам между муниципальными образованиями;

9) После переездов заполняются вакансии на местных рынках труда: идет борьба между работниками со схожими свойствами за наиболее привлекательные вакансии;

10) Происходит обновление основных таблиц для подготовки к следующему шагу.

Рассмотрим подробнее поведение предприятий и решения людей.

Мы моделируем динамику выручки предприятий как случайный процесс, для чего используем закон Жибра, ведущий к наблюдаемому на практике логарифмически нормальному распределению размеров предприятий (или к распределению по степенному закону, которое, впрочем, на практике бывает весьма непросто отличить от логарифмически нормального распределения). Это значит, что в нашей модели, абсолютное изменение выручки пропорционально прежнему ее значению, но сам тем прироста, то есть изменение относительное, определяется случайной величиной (мы, как и авторы других работ, используем нормальное распределение), математическое ожидание и дисперсия которой не зависят от уровня выручки. Это, однако, не значит, что малые и крупные предприятия находятся в абсолютно равных условиях. Так как цена рабочей силы не может опускаться ниже известного предела, поддерживающего минимальный уровень потребления (прожиточный минимум), а предприятие не может действовать без работников (то есть не может производить, хотя какое-то время возможно получать выручку за счет, например, отгруженных в прошлые периоды товаров), то у предприятий с большей выручкой есть некоторое преимущество: они могут нанять больше работников и, условно говоря, имеют больше возможностей отыграть вызванные случайным процессом потери.

Издержки предприятий разделяются на две части. С одной стороны — оплата труда, с другой — все другие расходы, в частности на потребление основного капитала и на промежуточное потребление. Избыток средств предприятие может направить как на расширение штата за счет открытия новых вакансий, так и на расширение выпуска (и, стало быть, выручки) за счет найма еще большего количества капитала. В таком случае предприятие может руководствоваться (пусть и с некоторой задержкой) структурой издержек (с учетом профессионального состава работников) более прибыльных предприятий отрасли. Решение замещать труд другими статьями затрат может возникнуть и под давлением местного рынка труда: предприятию нет смысла без конца открывать вакансии, если их некому замещать (в частности, в силу профессиональных требований).

Что касается работников, то их задачи зависят от их уровня достатка, который зависит как от доходов, так и от накопленного богатства. Для беднейших слоёв важная задача — это поднять доход в условиях местного рынка труда, так как из-за ловушки бедности переезд слишком дорог. С другой стороны, самые обеспеченные слои руководствуются, во-первых, не только местными условиями, а во-вторых, стремятся получить как можно большие неденежные выгоды, в частности за счет выбора более комфортного места для жизни. При переезде все способные оплатить его и принять его риски люди, руководствуются ожиданием дохода и шансов на трудоустройства с учетом имеющегося у этих людей опыта, квалификации и образования. В качестве дополнительного блока в модель можно внедрить явление отходничества, при котором люди на время переезжают в крупнейшие города с более высокими в силу целостности рынка труда доходами даже у неквалифицированных работников, с тем чтобы накопить запас денежных средств, который позволит вернуться в привычное место жительства и за счет заметно меньшего уровня цен некоторое время жить за счет накопленных сбережений, разменивая так рабочее время на более предпочтительный досуг. По существу, такой механизм описывает своего рода арбитраж, возможный благодаря географическим различиям в цене рабочей силы и корзин потребительских товаров. При этом в модели важно сохранить у отходников потребление во время работы на сравнительно низком уровне, необходимом для накопления сбережений.

Аналогично возможно вводить в модель и вахтовых работников, отправляющихся на заработки в места добычи полезных ископаемых. Особенность такого рода перемещений с точки зрения модели состоит в их возвратности, низких требованиях к квалификации при несоразмерно более высоких доходах и, наконец, отсутствии издержек на переезд, ограничивающих перемещение людей с невысокими доходами. В таком случае решение людей может зависеть от их оценки будущих доходов в случае сохранения

текущего трудоустройства или продолжения поиска работы при нынешних свойствах квалификации и образования.

В завершение отметим, что предложенная подход к имитационному моделированию удовлетворяет одновременно двум определениям пространственной модели, указанным в 1-м разделе: с одной стороны, у агентов модели есть пространственная привязка; с другой стороны, сами решения агентов, их состояния зависят от положения других агентов — как из-за устройства дорожных связей, так и в силу влияния сосредоточения на уровень различных цен.

3.2 Формирование и описание базы данных

Для задания начального состояния имитационной модели были собраны статистические данные.

Во-первых, для объектов второй ступени классификации общероссийского классификатора территорий муниципальных образований (ОКТМО), а именно муниципальных районов, муниципальных округов, городских округов (в том числе с внутригородским делением), внутригородских территорий городов федерального значения, из разрозненных таблиц базы данных показателей муниципальных образований [41] были сведены статистические показатели за 2017–2018 гг. в единый информационный массив (далее база муниципальной статистики — БМС).

В итоговой версии базы данных БМС показатели состояния экономики и социальной сферы муниципальных образований организованы согласно иерархическому принципу. Таблица данных имеет следующую структуру (таблица 4).

Таблица 4 — Описательная статистика основных параметров модели в базовом сценарии

oktmo_20200308	lvl1	lvl2	lvl3	lvl4	lvl5	unit	year	value	lvl1_code	r_num	p_id
...

Примечание — источник: составлено авторами.

В первом столбце «oktmo_20200308» содержатся коды 2 593 муниципальных образований второй ступени классификации ОКТМО версии марта 2020 г. [42]. Третья ступень классификации (внутригородские районы, городские и сельские поселения) не была включена в БМС из-за отсутствия данных по преобразованным поселениям. Одни из последних изменений в структуре муниципального устройства были связаны с принятием 1 мая 2019 г. поправок к Федеральному закону от 06.10.2003 № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации». Согласно старому ФЗ-131, муниципальные районы с входящими в них поселениями могли быть преобразованы в городские округа. В нескольких регионах России такая процедура сопровождалась ликвидацией поселенческого уровня, то есть происходил переход

к двухуровневой системе местного самоуправления. Суть новых поправок заключается во введении нового уровня муниципального образования — муниципального округа, который может состоять из нескольких населенных пунктов, объединенных общей территорией. Таким образом, в результате укрупнения муниципалитетов статистические данные для постоянно претерпевающих изменения объектов более низкого уровня муниципального устройства — поселений — часто недоступны, а для округов и районов — более постоянны, что и объясняет их использование в текущем исследовании.

При сборе разрозненных источников в единую БМС обнаружилось непоследовательное применение кодов ОКТМО в базе данных показателей муниципальных образований [41]. Какой-либо социально-экономический показатель района, который впоследствии был трансформирован в муниципальный округ, может соответствовать старому коду ОКТМО, а другой — коду нового округа. Поэтому фактически БД ПМО является не просто агрегированной таблицей показателей, выгруженных из источников о муниципальной статистике Федеральной службы государственной статистики. В процессе ее составления одинаковые показатели для разных единиц ОКТМО были сведены в один, и ему был присвоен свой собственный идентификатор.

Колонки «lv11», «lv12», «lv13», «lv14», «lv15» содержат полное название показателей, причем каждый следующий уровень детализирует предыдущий, последнее заполненное значение «lv1_*» обычно является периодом (месяц или определенная дата в году). Столбец «unit» содержит значения единиц измерения, «year» равен 2017 или 2018 г., «value» — значение показателя, «lv11_code» является кодом показателя самого верхнего уровня. Среди 270 факторов агрегированного уровня содержатся такие данные о муниципальных объектах, как их демографические характеристики (общий коэффициент рождаемости и смертности, коэффициент естественного прироста в промилле, половозрастная структура населения), миграционный прирост, среднемесячная заработная плата работников различных организаций (без субъектов МСП) в рублях по видам ОКВЭД, свойства окружающей среды (количество загрязняющих веществ, площадь многолетних насаждений) и т. д. «R_num» указывает на код региона, а «p_id» является уникальным идентификатором показателя на детализированном уровне, причем один «p_id» объединяет разные формы написания одного и того же по смыслу показателя. Название того же показателя часто различается у муниципальных образований разных субъектов Федерации. Всего уникальных полных показателей, определяемых «p_id», 6 590, размерность полной таблицы БД ПМО составляет $10\ 600\ 818 \times 12$.

Рассмотрим пример одной строки в таблице. Для уникального полного показателя с p_id «p_okved2_49000##p_period_76##p_Pokazateli_8423005» значением «lvl_1» может быть «Среднесписочная численность работников организаций (без субъектов малого предпринимательства) (с 2017 года)», «lvl2» — «Раздел Н Транспортировка и хранение», «lvl3» — «январь-сентябрь», последующие уровни «lvl4» и «lvl5» пусты вследствие отсутствия дальнейшего углубления показателя среднесписочной численности работников.

Сбор данных для единой таблицы БД ПМО осуществлялся с помощью специально созданной программы с использованием Selenium — библиотеки, позволяющей автоматизировать запросы и являющейся по сути своеобразным драйвером для браузера. С целью ускорения процесса выгрузки данных из базы данных Федеральной службы государственной статистики осуществлялась не по отдельным показателям, а по паспорту муниципального объекта, что позволяет получить сразу всю информацию (до 270 мер социально-экономического развития муниципального образования) для заданного объекта. Также была проведена работа по сравнению одних и тех же показателей, записанных в отличающихся формулировках для разных субъектов РФ. Каждому показателю, как было указано выше, был присвоен индивидуальный ключ.

Вторым крупным блоком данных являются показатели предприятий, которые можно разложить на 6 таблиц.

1) Показатели финансовой и бухгалтерской отчетности (информация получена из отчетов: активы и пассивы бухгалтерского баланса, отчет о движении денежных средств, отчет о финансовых результатах, отчет об изменении капитала, отчет о целевом использовании денежных средств) за каждый год с 2012 г. по 2018 г. были получены из массива открытых данных Федеральной службы государственной статистики [43; 44].;

2) Второй таблицей в блоке данных предприятий является таблица среднесписочной численности работников, доступная в открытых данных Федеральной налоговой службы [45; 46];

3) Одним из источников информации о привязке предприятий к определенным муниципальным образованиям является статистический регистр Федеральной службы государственной статистики [47], содержащий коды ОКТМО и ОКАТО, заявленные организацией при регистрации;

4) Данные единого реестра субъектов малого и среднего предпринимательства (МСП) [48] позволяют получить дополнительную информацию о географическом расположении организаций (адреса предприятий указаны вплоть до населенного пункта);

5) Следующей категорией данных является извлечение информации о страховых выплатах компаний в базе данных ФНС: для отдельных организаций служба раскрывает сведения об уплаченных страховых взносах [49]. С помощью данных поступлений можно оценить сумму фонда заработной платы для отдельных организаций;

6) Присвоение кода ОТКМО осуществлялось также на основе почтового индекса организации. Сведения о почтовом индексе были взяты с портала «За честный бизнес» [50]. Связь между кодами ОКТМО и почтовыми индексами мы установили с помощью эталонного справочника почтовых индексов объектов почтовой связи «Почты России» [51] и ОКТМО версии марта 2020 г. [42].

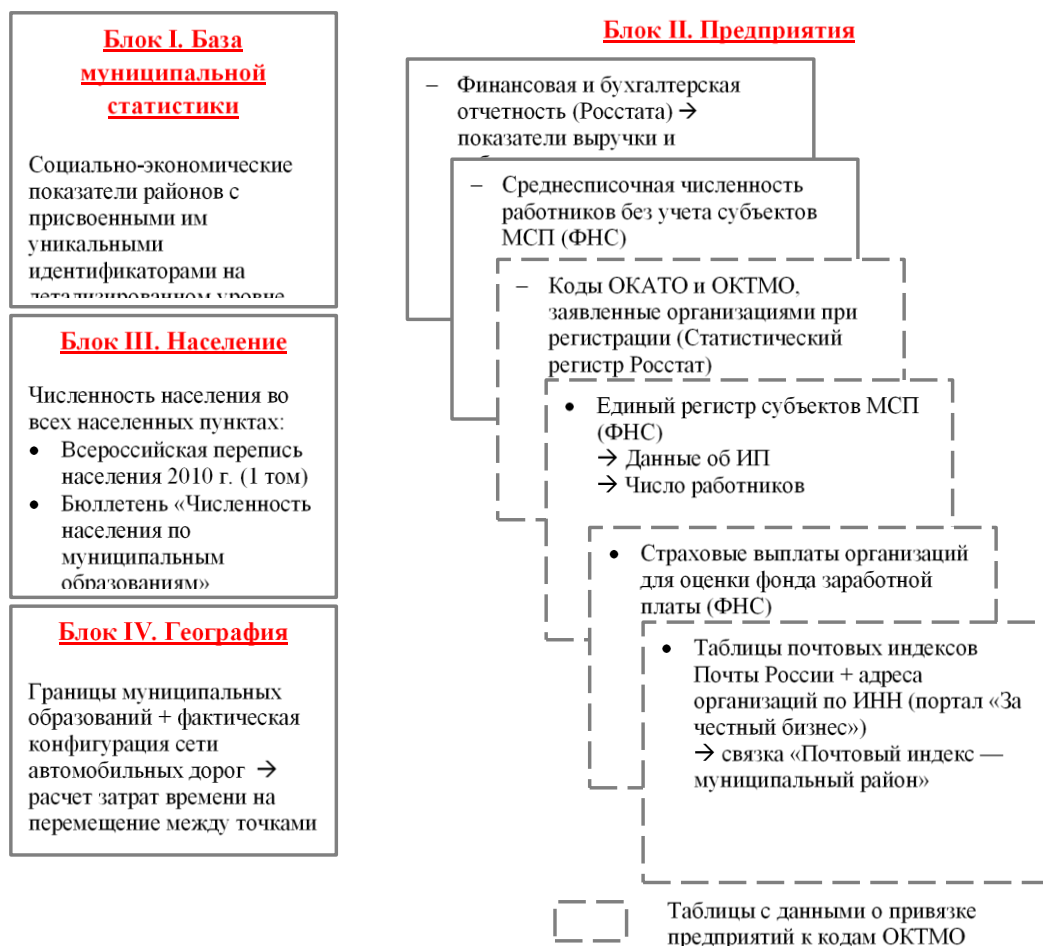
В результате этих операций все шесть таблиц привязаны к уникальным кодам одной версии классификатора ОКТМО до уровня муниципального района. Собранные данные имеют отраслевую привязку.

Третий блок данных касается данных о численности населения во всех населенных пунктах, упомянутых в 1-м томе материалов всероссийской переписи населения 2010 г. [52]. Перепись — источник сведений о числе жителей за 2010 г., с 2012 г. данные для городских населенных пунктов брались из бюллетеней Росстата «Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям» [53]. Данные по сельским населенным пунктам получены из разрозненных локальных статистических публикаций. В результате собраны данные о населении в 4 322 населенных пунктах: городских и сельских (административные центры или с числом жителей не менее 3 тыс. чел. по состоянию на 2010 г.).

На следующем этапе из OpenStreetMap были извлечены географические границы населенных пунктов и муниципальных образований уровня района, а также получена геометрия фактической конфигурации сети автомобильных дорог (последний использованный в расчетах снимок OpenStreetMap был от 27 апреля 2020 г.) [54], а затем рассчитаны временные издержки на перемещение по каждому населенному пункту с помощью специально написанной программы. Расчет расстояния между заданными точками был произведен посредством API Open Source Routing Machine (OSRM) [55], для работы которого был установлен локальный сервер. Благодаря OSRM поиск кратчайшего пути между заданными точками дорожной сети проходил с учетом таких факторов, как потери времени из-за поворотов, типы дорог и пр. В границах каждого населенного пункта выделялась дорожная сеть, на которой случайным образом выбирались 100 точек. Между всеми парами точек оценивалось расстояние, и бралось среднее значение затрат времени. Расстояние между населенными пунктами рассчитывалось по центроидам их территорий.

Финальную структуру блоков собранных данных можно представить в виде рисунка 3.

Общее число наблюдений в данных по организациям — 3 806 732 в сумме за 2017–2018 гг., причем 40 % организаций приходится на 2017 г. и 60% — на 2018 г. Удалось установить географическую принадлежность (муниципальный район) для 99,8 % всех организаций. В открытых данных слабо представлены организации некоторых крупных городов в 2017 г. Например, число предприятий в 2018 г. для городского округа «город Екатеринбург» составляло 33 тыс., однако в рабочей выборке этот показатель равнялся 7 организациям. Эта же проблема коснулась таких городов-миллионников, как Челябинск, Казань, Уфа и Пермь. Тем не менее не выпадали столицы и городские округа Нижнего Новгорода, Омска, Новосибирска, Красноярска, Волгограда и Оренбурга. Вследствие этого для задания начального состояния модели предпочтительнее использовать данные по организациям за 2018 г.



Примечание — источник: составлено авторами.

Рисунок 3 — Визуальное представление структуры собранной базы данных

Покрытие организаций по другим данным неоднородно. Согласно данным финансовой и бухгалтерской отчетности, оценка стоимости валового выпуска, то есть сумма выручки и изменения запасов, больше нуля только для 67,9 % организаций в 2017 г. и 66,7 % в 2018 г. Как было указано ранее, для части организаций — крупнейших налогоплательщиков и оборонных предприятий — данные о численности работников отсутствуют (их доля равна 14,0 % в 2017 г. и 15,1 % в 2018 г.), а число работников для 10,6 % организаций в 2017 г. и 10,2 % в 2018 г. равно нулю. Число работников организаций, о которых были сведения, составляло 11,3 млн чел. в 2017 г. и 19,2 млн чел. в 2018 г., хотя среднесписочная численность работников в стране в целом составляла 44,1 млн чел. и 40,0 млн чел. соответственно.

Базовая версия модели охватывает 4 300 городов, поселков и сел из всех субъектов Российской Федерации, кроме Республики Крым и города федерального значения Севастополя. Крым не представлен в модели из-за ограниченной возможности автоматической оценки расстояний его населенных пунктов до населенных пунктов других частей России: для оценки расстояний использовался API Open Source Routing Machine (OSRM) и пространственные данные от Open Street Map, но между поселениями Крыма и, например, населенными местами центральной России маршруты прокладывались через территорию Украины, что в настоящее время в силу существующей геополитической обстановки сложно признать оптимальным выбором маршрута, который бы на самом деле использовали жители Крыма или других частей России.

В модели также не представлены города Свирск Иркутской области и Александровск Пермского края из-за ряда проблем с данными, а также из рассмотрения исключаются населенные пункты, у которых не было жителей в 2018 г.

Все представленные сценарии наследуют у базовой модели значение основных параметров, а именно:

- Максимальной приемлемой продолжительности поездки из дома на работу — 75 минут;
- Эластичности платы за жилье по числу жителей (только трудоспособного возраста, так как в модели не представлены люди других возрастов и не ведется их учет) — 0,035;
- Эластичности дохода жителей города, поселка или села по числу его жителей — 0,032;
- Эластичности местных цен на потребительские товары и услуги (кроме расходов на поездки) по числу жителей — 0,01.

Для оценки точности прогноза численности населения трудоспособного возраста в базовой модели и ее сценарных разновидностях не рассматривались сельские населенные пункты, так как для них статистическое ведомство не публикует данные о численности населения ежегодно. Кроме того, чтоб задать начальное состояние модели с приемлемой точностью, требуются данные, описывающие совместное распределение финансовых показателей и числа работников организаций и индивидуальных предпринимателей, а эти данные доступны начиная с 2018 г. (Федеральная налоговая служба размещала данные о среднесписочной численности работников организаций и за 2017 г., но в этот год, как показал анализ данных, выпадают некоторые крупные города). И так как единственный открытый источник с последними упорядоченными (собранными в одном месте) оценками численности трудоспособного населения по городам — сборник «Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов» — на время работы над моделью вышел только за 2018 г., для оценки реальной численности трудоспособного населения и контроля предсказаний разработанных нами моделей использовались данные бюллетеня Росстата «Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям» на 1 января 2020 и 2019 годов и данные из Единой межведомственной информационной системы о доле трудоспособного населения в численности жителей региона. Так как те же данные были использованы для моделирования вступления в трудоспособный возраст все новых поколений, горизонт прогноза составляет 18 лет (до 2036 г. включительно): возрасты от 0 до 15 по состоянию на 2018 г. плюс те, кто родится к 2019 и 2020 годам. Так как в принципе о численности трудоспособного населения Росстат регулярно (раз в два года) сообщает только для городов с числом жителей больше 100 тыс., в оценке точности прогноза участвовали только города указанного размера [в аналогичных данных для муниципальных образований в БД ПМО ошибки (не сходятся суммы по отдельным возрастным группам) и слишком много пропусков].

Отличие базового сценария от других сценариев, которые будут представлены далее, в том, что, во-первых, ожидание изменения выручки у производителей всех классов ОКВЭД и во все годы одно и то же — 0%. Во-вторых, в базовой модели на решение людей о переезде не влияют различия в качестве городской среды: люди учитывают лишь обстановку на рынке труда (переезд невозможен в место с более высокой безработицей) и реальный уровень потребления (реальные располагаемые доходы).

Для рассмотрения предлагаются следующие отличные от базовой модели сценарии:

1. Устойчивый рост доходов населения. Указ Президента РФ от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» устанавливает среди показателей, характеризующих достижение национальных целей,

«устойчивый рост доходов населения... не ниже инфляции». Согласно опубликованному Министерством экономического развития Российской Федерации «Прогнозу социально-экономического развития Российской Федерации на 2021 год и на плановый период 2022 и 2023 годов», ожидается рост цен в среднем на 4% в год. Поэтому, чтобы для моделирования устойчивого роста доходов не ниже инфляции в рамках модели, в ней ежегодно доходы всех представленных в модели занятых людей ежегодно растут на 4%, соответственно изменяются параметры ожидания выручки, чтобы ожидание ее изменения было равно 4% и могло покрыть рост доходов работников без обострения безработицы.

2. Учет оценок индекса качества городской среды при принятии людьми решения о переезде. Рассмотрение данного варианта модели сужает круг рассматриваемых в модели населенных пунктов с 4300 до 1001, так как в рамках данного сценария учитываются только города, для которых Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ для целей федерального проекта «Формирование комфортной городской среды» и национального проекта «Жилье и городская среда» рассчитан индекс качества городской среды. Содержание модификации модели состоит в том, что люди в модели не рассматривают для переезда города, в которых индекс качества городской среды хуже, чем в их текущем месте пребывания (жительства). При этом в рамках модели предполагается, что индекс остается неизменным с 2018 г. вплоть до 2036 г. Задача данного сценария — выяснить, в какой мере различия в качестве городской среды, помогают спрогнозировать направления миграций и, как следствие, изменения в численности трудоспособного населения городов.

3. Повышение среднего индекса качества городской среды на 30% к 2024 г. и на 50% к 2030 г., что соответствует национальным целям развития России, определенным Указом Президента РФ от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» и Указом Президента РФ от 21 июля 2020 г. №474. Для анализа осуществления этой цели моделируется рост индекса качества городской среды с такой постоянной годовой скоростью, чтобы в 2024 г. индекс в 1,3 раза *в среднем* превышал значение по всем городам, для которых Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ проводится мониторинг индекса. При этом гарантируется, что индекс не превысит максимально допустимое значение в 360 (что случилось бы, если бы, например, показатель Москвы за 2018 г. просто умножили в 1,3 раза). Для населенных пунктов, представленных в модели, но не имеющих официальной оценки индекса качества среды, значения индекса принималось равным среднему значению показателя у отслеживаемых Министерством

строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ городов в 2018 г. и не изменялись в течение всего исполнения модели.

4. Сокращение доли городов с неблагоприятной городской средой к 2024 г. вдвое (не менее чем на 50%). Хотя в паспорте национального проекта «Жилье и городская среда», утвержденного протоколом президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 24 декабря 2018 г. № 16, сокращение доли городов с индексом качества городской среды вдвое к 2024 г. и рост самого индекса на 30% рассматриваются как одна цель, достижение соответствующих целевых показателей фактически требует очень разных усилий, а потому заслуживает отдельных сценариев. Дело в том, что неблагоприятной считается среда в городе, у которого значение индекса меньше 181 (180 и меньше), однако в 2018 г. среди городов с неблагоприятной городской средой первые 50% (фактически больше, так как у многих городов одинаковое значение индекса) по величине индекса качества городской среды заканчивались на значении индекса 161. Это значит, что даже для худшего значения из этого списка для пересечения черты в 180 баллов достаточно роста всего индекса на (менее чем) 2% год. При этом в 2018 г. был десяток городов с индексом 180, которым требовалось за 6 лет набрать всего один балл. Модель в этом сценарии исходит из того, что выполнение цели будет проходить по наиболее простому пути, то есть по пути повышения с одинаковым годовым темпом индекса качества городской среды у половины городов с неблагоприятной средой, наиболее близких к требуемому для признания их среды благоприятной значению индекса качества городской среды, равному 181.

Все описанные сценарии с использованием построенной имитационной модели запускались с тем же начальным числом для генератора случайных чисел, что делает возможным прямое сравнение их результатов.

3.4 Анализ результатов построения динамической имитационной пространственной модели российской экономики

3.4.1

Таблица 5 показывает точность прогноза в базовом сценарии и других вариантах модели. Общее у всех моделей — это переоценка, как следует из средней процентной ошибки (для оценки процентной ошибки из реального значения вычитают оценку, в то время как в других случаях ошибку получают вычитанием из оценки реального значения), изменения численности жителей в городах, а также, как видно из разницы квадратичной ошибки и средней абсолютной величины ошибки, ухудшение общей точности предсказания из-за отдельных выбросов.

Продолжение таблицы 5

Таблица 5 — Точность прогноза вариантов имитационной модели на выборке из городов с числом жителей больше 100 тыс. в 2019 и 2020 гг.

Сценарий	R^2	Квадратичная ошибка, чел.	Средняя абсолютная величина ошибки, чел.	Средняя процентная ошибка, %	Средняя абсолютная величина ошибки, %
Базовая модель (базовый сценарий)	0,988	72 590	26 379	-4,72	10,29
Рост доходов	0,988	74 509	27 516	-5,37	10,51
Постоянный индекс качества городской среды	0,991	66 852	27 044	-5,33	11,02
Средний индекс качества городской среды на 30 % выше к 2024 г.	0,989	74 106	26 739	-5,82	10,35
К 2024 г. на 50% сокращается число городов с неблагоприятной городской средой	0,989	73 914	26 595	-5,65	10,38

Примечание — составлено авторами.

В то же время именно у базового варианта модели наименьшая средняя абсолютная величина ошибки, а также средняя процентная ошибка и средняя абсолютная величина ошибки — -4,7 и 10,3% соответственно. Выбросы, которые ухудшают качество предсказания, — это прежде всего Санкт-Петербург в и в 2019, и 2020 г. В 2019 г. модель недооценила численность населения трудоспособных возрастов в Санкт-Петербурге на 865,7, а в 2020 — на 704 тыс. тыс. человек. Для сравнения: следующая по абсолютной величине ошибка — у Москвы, где ошибкой было уже не завышение, а занижение числа жителей — на 242 тыс. человек. В относительных величинах абсолютной величины процентной ошибки речь идет о 22 и 28% у Санкт-Петербурга и лишь 3% у Москвы. В общем и целом, есть слабая отрицательная связь между размером города и величиной процентной ошибки, то есть у более крупных городов переоценка выходит больше. Это может свидетельствовать о том, что значения важнейших для модели параметров эластичности, взятые из статей по теме, не вполне подходят для описания России. В частности, это может означать, что, например, эластичность местных цен занижена (взятая нами оценка использовала американские данные). Другое объяснение может состоять в том, что использованные как мера уровня потребительских цен значения прожиточного минимума недооценивают расходы в более крупных городах. Наконец, систематическая переоценка числа трудоспособного населения может указывать на необходимость более жесткого определения ловушки бедности в модели (в нынешней версии бедность определяется лишь как превышение прожиточным минимумом располагаемых доходов или сбережений).

В общем и целом, согласно оценкам модели, население трудоспособного возраста в Москве уменьшится на 355 тыс., но вырастет: в Санкт-Петербурге на 855 тыс., Казани 311 тыс., Уфе 264 тыс. Более чем на 100 тыс. ожидается рост численности трудоспособного населения в Нижнем Новгороде, Ижевске, Воронеже, Чебоксарах и Краснодаре. Что касается убывающих городов, то кроме Москвы большая убыль, согласно модели, ожидается в Сургуте и Балашихе — на 82 и 77 тыс. соответственно. Убыль ожидается также в ряде других городов московского региона — из-за высокой цены жизни. Рисунок 4 показывает распределение городов с точки зрения относительного прироста населения к 2030 году.



Примечание — составлено авторами

Рисунок 4 — Оценка прироста численности трудоспособного населения в городах России в базовом варианте имитационной модели за 2018–2030 гг.

С точки зрения распределения миграций (переезда с увольнением / сменой места работы) наиболее притягательный город в базовой модели — Санкт-Петербург. До 2030 г. он в среднем ежегодно получал приток из 35,4 тыс. человек. Второй по привлекательности город — Казань, где за тот же отрезок средний приток оценивается в 20,1 тыс. С заметным отставанием (при сопоставимой людности) идут Уфа и Нижний Новгород, где миграционный приток прогнозируется в 13 тыс. в год.

По численности выбывающих среди всех городов выделяется Москва. Согласно базовому варианту модели, среднегодовой отток из Москвы до 2030 г. — 42 тыс. человек. В первой пятерке по оттоку жителей также Самара, Челябинск, Тюмень и Сургут, но здесь среднегодовой отток был в 4 раза меньше — 10–13 тыс. человек. Если судить о миграциях по сальдо миграционного баланса, то кроме упомянутых ранее привлекающих мигрантов городов выступают также Воронеж, Ижевск и Химки, где чистый миграционный прирост ожидается в размере более 8 тыс. человек ежегодно (до 2030 г.). Близко к ним подходят Чебоксары с положительным балансом в 7,6 тыс. человек в год.

Распределение городов России по чистому миграционному притоку, нормированному на число жителей, то есть по коэффициенту миграционного притока, показывает Рисунок 5. Получают самый высокий коэффициент чистого миграционного притока города в полосе от Нижнего Новгорода до Уфы, Санкт-Петербург, Краснодарский край и города Черноземья. Главный ареал оттока — Москва с некоторыми ближайшими городами (особенно выделяется Красногорск с коэффициентом -75 промилле). По поводу этой эмиграции следует отметить, что она в значительной степени носит перераспределительный характер, так как наряду с переживающими миграционную убыль Красногорском, Щелковом, Жуковским, Дзержинским, Пушкином и Фрязином в Московской области в модели есть города с положительным балансом, в частности: Видное (66 промилле), Химки (53), Сергиев Посад (48), Чехов (42).



Примечание — составлено авторами.

Рисунок 5 — Оценка среднего за 2018–2030 гг. коэффициента миграционного прироста в городах России в базовом варианте имитационной модели

Особенно резкий отток ожидается из городов автономных округов Тюменской области: Ноябрьска (-215 промилле), Сургута (-159), Лабитнанги (-141), Покачи (-122), Радужного (-114), Лангепаса (-110), Нижневартовска (-89), Салехарда (-64,7). При этом для соседнего с Сургутом Нефтеюганска ожидается коэффициент миграционного прироста (средний до 2030 г.) в 28,4 промилле. Положительный прирост в Нефтеюганске ожидается в частности от переехавших из Сургута. В общем и целом, главное направление эмиграции из автономных округов Тюменской области — Санкт-Петербург.

Что касается маятниковых поездок, то корректность их направлений и границ гарантируется использованием реальных затрат времени на реальной сети дорог и применением обоснованного предела односторонней поездки в 75 минут. Поэтому интерес больший интерес представляют не сами границы маятниковых миграций (и определяемые ими границы агломераций), а их интенсивность. Направления маятниковых миграций в общем и целом одни для всех представляемых разновидностей имитационной модели. Их географию представляет Рисунок 6.

В базовом варианте модели в начальном состоянии на 2018 г. из 66,7 млн человек трудоспособного возраста 11,2 млн совершают регулярные поездки на работу в другой населенный пункт. Иными словами, изначальная доля маятниковых мигрантов в модели — 16,8%. С течением времени из-за оптимизации в выборе места жительства, а также стохастической динамики финансовых показателей производителей это доля только уменьшается и к 2036 г. сокращается вдвое до 8,5%. Главное направление маятниковой миграции — это Москва, привлекающая в среднем в 2018–2030 гг. на работу из окрестных населенных пунктов модели 1,36 млн их жителей. Особенность Москвы в том, что она не только выступает как место для трудоустройства, но и сама активно участвует в заполнении вакансий в окрестных городах, направляя туда на работу в среднем около 450 тыс. своих жителей ежегодно. Особенно большим притоком маятниковых мигрантов в московском регионе вне столицы выделяются Химки (более 55 тыс. маятниковых трудовых мигрантов), Мытищи, Красногорск, Подольск и Балашиха (по 46 тыс.). Следующие за Москвой города — центры агломераций имеют заметно меньший объем приезжающих в центр маятниковых мигрантов, чем столица: около 250 тыс. в Санкт-Петербурге и около 201 тыс. в Краснодаре; в Екатеринбурге, Самаре, Нижнем Новгороде и Ростове-на-Дону между 100 и 200 тыс.



Примечание — составлено авторами

Рисунок 6 — Направления потоков регулярных трудовых поездок маятниковых мигрантов в рамках комплекса имитационной модели при максимальном допустимом территориальном охвате в 4 300 единиц административно-территориального деления

3.4.2

Сценарий, в котором рост выручки производителей обеспечивает устойчивый рост доходов граждан на 4% в год, позволяет рассмотреть возможности обеспеченного экономическим ростом сокращения безработицы, а также влияние роста доходов на мобильность граждан, оптимизацию за счет их миграций пространственного распределения рабочей силы. Отметим, что 4%-ный гарантированный условиями сценария рост не отменяет действие заложенных в модель агломерационных эффектов — вызванного увеличением людности населенного пункта роста как доходов, так и цен.

С точки зрения точности предсказания вариант с устойчивым ростом доходов дальше других сценариев от оценок реального числа жителей трудоспособного возраста по городам России. Такое расхождение естественно, так как вместо устойчивой ежегодной прибавки в 4% к доходам в 2019 и 2020 гг., по которым и оценивалась точность прогноза, экономика России переживала застой (в 2019 г. ВРП вырос всего на 1,3%, а реальные доходы на 1,7%, в 2020 г. ожидается убыль обоих показателей).

Тем не менее, даже при условии реализации плана об устойчивом росте доходов результаты с точки зрения уровня безработицы отличаются от таковых в базовой модели незначительно. Более того, прогнозируемое уменьшение безработицы даже несколько отстает от базового сценария. Это объясняется тем, что в условиях роста доходов в рассматриваемом сценарии возрастают возможности для миграций, что создает давление на рынки труда в наиболее привлекательных для мигрантов центрах. Такое давление создается прежде всего группами с более высоким ожидаемым доходом (благодаря образованию, опыту работы и привычному роду занятий), конкуренция между которыми и вызывает пусть и незначительное, но все же отставание от варианта базовой модели.

Конкретная иллюстрация возросшей мобильности в сценарии с ростом доходов — общее число переездов. В целом за весь отрезок времени (до 2036 г.) в базовой модели происходит более 10,7 млн переездов, в то время как в варианте с ростом доходов их на 3,4 млн больше. Более высокая склонность к миграциям в варианте с ростом доходов проявляется почти во все годы работы модели, но после 2030 г. рост перевеса в сценарии замедляется. Это может означать, что рост доходов не увеличивает число миграций само по себе, но скорее способствует более быстрому приведению системы расселения к его естественному, равновесному состоянию, чем при застое доходов.



Примечание — составлено авторами.

Рисунок 7 — Оценка прироста численности трудоспособного населения в городах России в варианте имитационной модели с устойчивым 4%-ным ростом доходов работников и выручки производителей за 2018–2030 гг.



Примечание — составлено авторами.

Рисунок 8 — Оценка среднего за 2018–2030 гг. коэффициента миграционного прироста в городах России в сценарии имитационной модели с устойчивым 4%-ным ростом доходов работников и выручки производителей

О направлениях миграции в сценарии роста доходов достаточно сказать, что они в общем и целом сохраняются теми же, но при этом усиливается приток в привлекающих мигрантов городах (крупнейший приток получает Санкт-Петербург), а коэффициент миграционной убыли в городах, терявших население из-за эмиграции, делается еще более отрицательным. Изменения в числе жителей трудоспособного возраста и оценки коэффициента миграционного прироста приводят рисунки 7 и 8.

3.4.3

В базовой модели Москва была главным городом, который терял жителей. Из самого устройства модели следует, что в ее рамках это происходит из-за дороговизны жизни в Москве. Еще Э. Глейзер указывал, что города могут привлекать (а равно и не теряют) новых жителей не потому, что дают большой доход, но из-за совокупности природно-климатических, исторических и других факторов, определяющих качество и условия жизни на определенной территории, которые не измеряются базовыми экономическими показателями. То есть важным фактором является то, что в английской литературе называют термином *amenities* — по существу то, что должен отражать индекс качества городской среды. Из этих размышлений возникает отдельный сценарий, в котором, в отличие от базовой версии модели, принимая решение о переезде люди учитывают среди прочего различия в качестве городской среды и стремятся улучшить условия, в которых живут, а не только грубый уровень потребления товаров. Включая оценки индекса качества городской среды в модель, мы вначале ограничиваем модель лишь теми городами, которые участвует в проекте, а потому территориальный охват модели, как указывалось ранее, сокращается с 4300 населенных пунктов до 1001 города.

Из-за этого не вполне сопоставима точность предсказаний данного сценария с другими вариантами модели. Тем не менее, сравнение с показателями базовой модели (Таблица 5) показывает, что по большей части метрик качество прогноза ухудшается. Это указывает на сравнительную важность территориальной широты охвата модели против более полного учета возможных причин переезда или отказа от него: изменения в численности жителей определяются процессами урбанизации (в узком смысле переезда в города из пунктов, не наделенных городским статусом) в большей степени, чем перераспределением населения между городами согласно качеству их городской среды. Такой вывод следует из того, что в сценарий с постоянным реальным (на 2018 г.) индексом качества городской среды попадают, очевидно, именно города, но не другие типы населенных пунктов.



Примечание — Составлено авторами.

Рисунок 9 — Оценка прироста численности трудоспособного населения в городах России в варианте имитационной модели с неизменными оценками индекса качества городской среды, зафиксированными по состоянию на 2018 г.



Примечание — Составлено авторами.

Рисунок 10 — Оценка среднего за 2018–2030 гг. коэффициента миграционного прироста в городах России в варианте имитационной модели с неизменными оценками индекса качества городской среды, зафиксированными по состоянию на 2018 г.

С другой стороны, у данного территориально ограниченного сценария наименьшая квадратичная ошибка, что указывает на лучшее обращение с выбросами, чем в других разновидностях модели (Рисунок 9). Так, введение в модель индекса качества городской среды вдвое сужает число возможных пар городов (города отправления и города прибытия) для переезда в 2019 г. Два наиболее выдающихся результата от такого сужения доступных комбинаций — это, во-первых, уменьшение в 4 раза совокупного числа въехавших в Санкт-Петербург (что уменьшает переоценку его прироста, а значит делает выброс менее влиятельным с точки зрения общей точности прогноза); а во-вторых, исключение миграционного оттока из Москвы, где индекс городской среды максимальный и, следовательно, переезд из Москвы в какой-либо другой город невозможен, так как это означало бы непременно ухудшение условий жизни. Еще одно выделяющееся отличие данного сценария от базового варианта — ухудшение коэффициента миграционного оттока из Мурманска (Рисунок 10).

3.4.4

Варианты модели с выполнением поставленных национальным проектом «Жилье и городская среда» целевых показателей сосредоточены на том, чтобы выяснить, вызовет ли улучшение качества городской среды ускорение миграционного перетока в участвующие в программе города или, например, замедлит отток из них.

Рассмотрим сначала наиболее оптимистичный вариант, предполагающий рост качества городской среды во всех без исключения городах, так что среднее значение индекса к 2024 г. растет в 1,3 раза. Об оптимистичности такого варианта говорит уже то, что этот модельный сценарий предполагает, что к 2024 г. Москва, например, достигнет максимальной оценки по всем 36 составным частям индекса. Тем не менее, даже при осуществлении цели сколько-нибудь значительного влияния рост индекса качества городской среды в городах — участниках национального проекта на коэффициент их миграционного прироста не оказывает. Диаграммы рассеяния не показывают также и признаков каких бы то ни было различий в коэффициенте миграционного притока между городами — участниками национального проекта и прочими населенными пунктами в сценарном варианте по сравнению с вариантом базовым.

Проблема данного сценарного сравнения лежит в том, что мы не знаем, каково качество городской среды в населенных пунктах, не охваченных программой. В итоге, несмотря на сохранение уменьшения ошибки прогноза для Санкт-Петербурга, как в версии с одними только городами — участниками проекта улучшения качества городской среды, ошибки для других городов, а особенно для Сургута и Нижневартовска, которым

модель предсказывает неоправданно большой отток населения (Рисунок 11, Рисунок 12), с точки зрения величины притока выросли.

Это может указывать на то, что условия жизни в населенных пунктах, для которых министерство не рассчитывает индекс качества городской среды может быть выше, чем средний показатель по городам, включенным в мониторинг. Другое объяснение ухудшения прогноза состоит в том, что в рассматриваемом сценарии большее внимание среди лиц, рассматривающих переезд, получают небольшие, но благоустроенные города. В модели Москва удерживает население, но не привлекает новых жителей (что, однако, связано исключительно с ожидаемой ценой жизни). Модель исходила из того, что все люди безусловно осведомлены о качестве городской среды и его изменении во всех городах, однако на деле люди не знают все города одинаково хорошо, так что, например, Москву или центр региона (макрорегиона) как потенциальное место для переезда будут рассматривать чаще, чем небольшие, пусть и благоустроенные, города.

Рисунок 11 отличается от аналогичных карт других вариантов модели необычно умеренным коэффициентом миграционного прироста для большей части изображенных городов. Здесь и проявляется проблема «не городов». Фактически такая умеренность изображенных коэффициентов означает, более активный, чем в других сценариях, миграционный обмен с населенными пунктами, не изображенными на карте. Речь идет в буквальном смысле о тех единицах административно-территориального деления, названию которых в таблицах переписи 2010 г. не предшествует слово город.

Рисунок 13 показывает распределение коэффициента миграционного прироста при наименее затратной интерпретации цели по улучшению качества городской среды исключительно в 50% городов с неблагоприятной ее оценкой. Здесь оценки не отличаются той же умеренностью, что и в сценарии с ростом качества городской среды на 30%, так как изменения касаются очень небольшой части населенных пунктов модели. В то же время сужение перечня населенных мест с изменением индекса качества городской среды позволяет лучше понять причины экстремальных значений миграционного прироста в городах Ханты-Мансийского округа: происходит лишь перераспределение населения между городами в рамках одного локального рынка труда, то есть без необходимости поиска новой работы. Формально такой артефакт модели возникает потому, что в соседних населенных пунктах зарплата (из-за того же рынка труда) и стоимость потребительской корзины (из-за вхождения в тот же регион с теми же формальными определениями прожиточного минимума) примерно те же, так что единственным важным фактором для переезда остаются различия в качестве городской среды.



Примечание — составлено авторами.

Рисунок 11 — Оценка среднего за 2018–2030 гг. коэффициента миграционного прироста в городах России в варианте имитационной модели с ростом среднего индекса качества городской среды в городах — участниках нацпроекта «Жилье и городская среда» на 30% к 2024 г.



Примечание — составлено авторами.

Рисунок 12 — Оценка прироста численности трудоспособного населения в городах России в варианте имитационной модели с ростом среднего индекса качества городской среды в городах — участниках нацпроекта «Жилье и городская среда» на 30% к 2024 г.



Примечание — составлено авторами.

Рисунок 13 — Оценка среднего за 2018–2030 гг. коэффициента миграционного прироста в городах России в варианте имитационной модели с ростом индекса качества городской среды к 2024 г. исключительно у половины городов с неблагоприятной городской средой до значения индекса больше 180

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая работа посвящена развитию методологии построения имитационной пространственной модели российской экономики и разработке методики сценарного анализа пространственного развития российской экономики с помощью имитационной пространственной модели.

Одно из важнейших последствий перемен в экономике — изменение ее пространственного устройства, миграции со сменой места жительства, развитие регулярных маятниковых поездок и вызванные этим сдвиги в системе расселения и размещении производительных сил страны. Именно для анализа такого рода динамики экономического пространства России и предназначен разработанный комплекс имитационных моделей.

Особенность представленных симуляций в том, что они выводят изменения на макроуровне из простых, а потому понятных решений простейших элементов экономической системы — жителей страны, отдельных производителей и свойств отдельных населенных пунктов. Разработанная имитационная модель отличается наиболее широким среди аналогов территориальным охватом и учитывает до 4 300 населенных пунктов с общим числом населения в трудоспособном возрасте на 2018 г. более 66 млн человек. Максимальный период симуляции — 2018–2036 гг.

Для разработки модели собрана обширная база данных, которая описывает с максимальной подробностью финансовые показатели, отраслевую принадлежность, размещение и число вовлеченных в производство человек для почти всех отмеченных в ЕГРЮЛ организаций, а также (впервые) индивидуальных предпринимателей — субъектов малого предпринимательства. При моделировании трудоустройства и распределения доходов учитываются реальные оценки (из выборочных обследований) структуры населения по полу, возрасту, виду занятий, уровню образования и опыту работы, различия между этими группами населения в средней оплате труда. Для оценки возможностей маятниковых миграций для каждой пары из 4 300 населенных пунктов получены оценки затрат времени на поездку на легковом автомобиле. Благодаря этому выбор предельной продолжительности поездки из дома на работу позволяет модели оценивать границы и размеры локальных рынков труда, их изменение при условии ускорения или замедления дорожного сообщения. Эти оценки дополняются расчетом по оригинальной методике затрат времени на передвижение внутри каждого представленного в модели населенного пункта.

В базовой модели динамика миграционных процессов выводится исключительно из стремления людей переехать (с учетом их финансовых возможностей) в районы с более благополучной обстановкой на рынке труда и более высоким ожидаемым реальным (с поправкой на местный уровень цен) располагаемым доходом. Исходя из этого базовая

модель прогнозирует особенно быстрый рост Санкт-Петербурга — прежде всего за счет миграционного притока, а также городов в полосе от Нижнего Новгорода до Уфы. В то же время наиболее острый миграционный отток ожидается из районов Севера, прежде всего из городов автономных округов Тюменской области, особенно из Сургута. Что касается столицы, то ее миграционный рост в рамках модели останавливают слишком высокие цены на жилье. Вместо роста ядра агломерации в столичном регионе прогнозируется дальнейшее развитие субурбанизации и перераспределение населения между важнейшими городами — спутниками Москвы. Особенное преимущество в столичной агломерации с точки зрения миграционного притока получают Химки, где в среднем до 2030 г. ожидается ежегодный приток в 8 тыс. мигрантов трудоспособного возраста. Перераспределение населения за счет миграций, согласно прогнозу модели, способно снизить уровень безработицы (в единицах списочного состава на численность рабочей силы, то есть с поправкой на неполную занятость) к 2036 г. вдвое.

Кроме базовой модели в разработанный комплекс входит ряд модификаций, рассматривающих отдельные сценарии, связанные с реализацией поставленных Указом Президента РФ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». А именно рассматривались устойчивый рост доходов населения не ниже уровня инфляции (4% согласно официальному прогнозу Минэкономразвития), а также улучшение качества городской среды. Согласно результатам сценарного анализа, устойчивый рост доходов увеличивает миграционные потоки почти на четверть по сравнению с вариантом, при котором в экономике происходит застой, а единственный способ повышения доходов — концентрация населения в более производительных городах. При этом направления миграции сохраняются, что позволяет говорить о более быстром приведении системы расселения к равновесному состоянию, а не о коренной перестройке системы центров притяжения мигрантов.

При рассмотрении качества городской среды сценарии модели исходили из того, что условия среды — такой же важный фактор для переезда, как и ожидание трудоустройства и роста располагаемого дохода. Внедрение этого элемента улучшает качество прогноза для Москвы и Санкт-Петербурга, но ухудшает его для других городов, что свидетельствует об избирательности и неполноте знаний жителей страны об условиях жизни в различных городах. При условии реализации установленных национальным проектом «Жильё и городская среда» целевых показателей (рост индекса качества городской среды на 30 % и уменьшение доли городов с неблагоприятной средой на 50 %), согласно результатам симуляции, в масштабах страны в целом ожидается снижение коэффициентов миграцион-

ного прироста в крупнейшие города и перераспределение жителей между населенными пунктами в рамках общих для них локальных рынков труда.

Ценность модели состоит не только в рассмотрении прикладных сценариев осуществления целевых показателей национальных проектов, но и проверке принятых в литературе оценок эластичности по числу жителей города его уровня потребительских цен, местных цен на жилье, а также среднего уровня дохода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ballas D., Clarke G. P., Wiemers E. Building a dynamic spatial microsimulation model for Ireland // *Popul. Space Place*. Wiley Online Library, 2005. Vol. 11, № 3. P. 157–172.
2. Kilvits K. Living environment as location decision factor for manufacturing enterprises // *China-USA Bus. Rev.* 2012. Vol. 11, № 2. P. 217–224.
3. O'Mara M. A. Strategic Drivers of Location Decisions for Information-Age Companies // *The Journal of Real Estate Research*. American Real Estate Society, 1999. Vol. 17. P. 365–386.
4. O'sullivan A. Where Do Firms Locate? // *Urban Econ.* 2003. Vol. 5. P. 65–91.
5. Benenson I. Multi-agent simulations of residential dynamics in the city // *Comput. Environ. Urban Syst.* Pergamon, 1998. Vol. 22, № 1. P. 25–42.
6. Torrens P. M. A Geographic Automata Model of Residential Mobility // *Environ. Plan. B Plan. Des.* Pion Limited, 2007. Vol. 34, № 2. P. 200–222.
7. Baynes T., Heckbert S. Micro-scale simulation of the macro urban form: Opportunities for exploring urban change and adaptation // *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. Vol. 5683 LNAI. P. 14–24.
8. Mayer C. J., Somerville C. T. Residential Construction: Using the Urban Growth Model to Estimate Housing Supply // *J. Urban Econ.* Academic Press, 2000. Vol. 48, № 1. P. 85–109.
9. Proost S., Thisse J. F. What can be learned from spatial economics? // *J. Econ. Lit.* American Economic Association, 2019. Vol. 57, № 3. P. 575–643.
10. Lerman S. R. A disaggregate behavioral model of urban mobility decisions. Massachusetts Institute of Technology, 1975. 336 p.
11. Ettema D. A multi-agent model of urban processes: Modelling relocation processes and price setting in housing markets // *Comput. Environ. Urban Syst.* Pergamon, 2011. Vol. 35, № 1. P. 1–11.
12. Muth R. F. The spatial structure of the housing market // *Pap. Reg. Sci. Assoc.* Springer-Verlag, 1961. Vol. 7, № 1. P. 207–220.
13. McDonald J. F. William Alonso, Richard Muth, resources for the future, and the founding of Urban economics // *Journal of the History of Economic Thought*. Cambridge University Press, 2007. Vol. 29, № 1. P. 67–84.
14. Matsukawa I. Interregional Gross Migration and Structural Changes in Local Industries // *Environ. Plan. A Econ. Sp.* SAGE Publications Sage UK: London, England, 1991. Vol. 23, № 5. P. 745–756.

15. Morkutė G., Koster S., Van Dijk J. Employment growth and inter-industry job reallocation: spatial patterns and relatedness // *Reg. Stud.* Routledge, 2017. Vol. 51, № 6. P. 958–971.
16. Black D., Henderson V. Spatial Evolution of Population and Industry in the United States // *Am. Econ. Rev.* 1999. Vol. 89, № 2. P. 321–327.
17. Blomquist G. C., Berger M. C., Hoehn J. P. New estimates of quality of life in urban areas // *Am. Econ. Rev.* 1988. Vol. 78, № 1. P. 89–107.
18. Shapiro J. M. Smart cities: Quality of life, productivity, and the growth effects of human capital // *Rev. Econ. Stat.* The MIT Press, 2006. Vol. 88, № 2. P. 324–335.
19. Albouy D. What are cities Worth? Land rents, local productivity, and the total value of amenities // *Rev. Econ. Stat. MIT Press Journals*, 2016. Vol. 98, № 3. P. 477–487.
20. Colombo E., Michelangeli A., Stanca L. La Dolce Vita : Hedonic Estimates of Quality of Life in Italian Cities // *Reg. Stud.* Routledge, 2014. Vol. 48, № 8. P. 1404–1418.
21. Zheng S., Fu Y., Liu H. Demand for urban quality of living in China: Evolution in compensating land-rent and wage-rate differentials // *J. Real Estate Financ. Econ.* Springer, 2009. Vol. 38, № 3. P. 194–213.
22. Berger M. C., Blomquist G. C., Sabirianova Peter K. Compensating differentials in emerging labor and housing markets: Estimates of quality of life in Russian cities // *J. Urban Econ.* Academic Press, 2008. Vol. 63, № 1. P. 25–55.
23. Huang Q. et al. A Review of Urban Residential Choice Models Using Agent-Based Modeling // *Environ. Plan. B Plan. Des.* Pion Limited, 2014. Vol. 41, № 4. P. 661–689.
24. Filatova T., van der Veen A., Parker D. C. Land Market Interactions between Heterogeneous Agents in a Heterogeneous Landscape-Tracing the Macro-Scale Effects of Individual Trade-Offs between Environmental Amenities and Disamenities // *Can. J. Agric. Econ. Can. d'agroeconomie.* John Wiley & Sons, Ltd, 2009. Vol. 57, № 4. P. 431–457.
25. Robinson D. T. et al. Modelling the impacts of land system dynamics on human well-being: Using an agent-based approach to cope with data limitations in Koper, Slovenia // *Comput. Environ. Urban Syst.* Pergamon, 2012. Vol. 36, № 2. P. 164–176.
26. Murray-Rust D. et al. Agent-based modelling of land use dynamics and residential quality of life for future scenarios // *Environ. Model. Softw.* Elsevier, 2013. Vol. 46. P. 75–89.
27. Zhang H. et al. Modelling urban expansion using a multi agent-based model in the city of Changsha // *J. Geogr. Sci.* Springer, 2010. Vol. 20, № 4. P. 540–556.
28. Haase D., Lautenbach S., Seppelt R. Modeling and simulating residential mobility in a shrinking city using an agent-based approach // *Environ. Model. Softw.* Elsevier, 2010.

- Vol. 25, № 10. P. 1225–1240.
29. Furtado B. A., Eberhardt I. D. R. A simple agent-based spatial model of the economy: tools for policy // JASSS. University of Surrey, 2015. Vol. 19, № 4.
 30. Haas A., Osland L. Commuting, Migration, Housing and Labour Markets: Complex Interactions // Urban Stud. SAGE PublicationsSage UK: London, England, 2014. Vol. 51, № 3. P. 463–476.
 31. IPPC : Horizontal Guidance for Noise Part 2-Noise Assessment and Control. Bristol, 2004. 84 p.
 32. Wagner P., Wegener M. Urban land use, transport and environment models: Experiences with an integrated microscopic approach // DISP. Taylor & Francis Group , 2007. Vol. 170, № 3. P. 45–56.
 33. Harris J. R., Todaro M. P. Migration, Unemployment and Development: A Two-Sector Analysis // Am. Econ. Rev. American Economic Association, 1970. Vol. 60, № 1. P. 126–142.
 34. Ghatak S., Mulhern A., Watson J. Inter-Regional Migration in Transition Economies: The Case of Poland // Rev. Dev. Econ. John Wiley & Sons, Ltd, 2008. Vol. 12, № 1. P. 209–222.
 35. Chen A., Coulson N. E. Determinants of Urban Migration: Evidence from Chinese Cities // Urban Stud. Sage PublicationsSage UK: London, England, 2002. Vol. 39, № 12. P. 2189–2197.
 36. Вакуленко Е. С. Миграционные процессы в городах России: эконометрический анализ // Прикладная эконометрика. 2012. Vol. 25, № 1. P. 25–50.
 37. Weisbrod G., Ben-Akiva M., Lerman S. Tradeoffs in residential location decisions: Transportation versus other factors // Transp. Policy Decis. 1980. Vol. 1, № 1. P. 13–26.
 38. Heyns W., Van Jaarsveld S. Transportation Modelling in Practice: Connecting Basic Theory to Practice // Transportation, Land Use and Integration: Applications in Developing Countries / ed. Schoeman I.M. Southampton, UK: WITPress, 2017. P. 3–27.
 39. Scheiner J., Holz-Rau C. Travel mode choice: Affected by objective or subjective determinants? // Transportation (Amst). Springer, 2007. Vol. 34, № 4. P. 487–511.
 40. Voith R. Transportation, Sorting and House Values // Real Estate Econ. John Wiley & Sons, Ltd, 1991. Vol. 19, № 2. P. 117–137.
 41. База данных показателей муниципальных образований / Федеральная служба государственной статистики [Electronic resource]. 2020.
 42. Общероссийский классификатор территорий муниципальных образований (ОКТМО) [Electronic resource].

43. Бухгалтерская (финансовая) отчетность предприятий и организаций за 2017 год [Electronic resource].
44. Бухгалтерская (финансовая) отчетность предприятий и организаций за 2018 год - Росстат - Открытые данные [Electronic resource].
45. Сведения о среднесписочной численности работников организации за 2018 год / ФНС России [Electronic resource].
46. Сведения о среднесписочной численности работников организации за 2019 год / ФНС России [Electronic resource].
47. Статистический регистр хозяйствующих субъектов / Федеральная служба государственной статистики [Electronic resource].
48. Единый реестр субъектов малого и среднего предпринимательства / Федеральная налоговая служба [Electronic resource]. 2020.
49. Сведения об уплаченных организацией в календарном году, предшествующем году размещения указанных сведений в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» в соответствии с пунктом 1.1 статьи 102 Налогового кодекса Российской Федерации, суммах налогов [Electronic resource]. 2020.
50. ЗАЧЕСТНЫЙБИЗНЕС - Всероссийская система данных о компаниях и бизнесе [Electronic resource].
51. Эталонный справочник почтовых индексов объектов почтовой связи / Информационно-вычислительный центр ОАСУ РПО, «Почта России» [Electronic resource].
52. Том 1. Численность и размещение населения / Федеральная служба государственной статистики [Electronic resource] // ВПН-2010. 2013.
53. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям [Electronic resource] // Каталог публикаций::Федеральная служба государственной статистики.
54. Planet OSM [Electronic resource].
55. Project OSRM [Electronic resource].
56. Gyourko J., Saiz A., Summers A. A New Measure of the Local Regulatory Environment for Housing Markets: The Wharton Residential Land Use Regulatory Index // Urban Stud. Sage PublicationsSage UK: London, England, 2008. Vol. 45, № 3. P. 693–729.