

УДК 911.375

ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО В МОСКОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ: ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАВНОВЕСИЯ

© 2016 г. Н. К. Куричев

Институт географии РАН, Москва, Россия

e-mail: nk.kurichev@gmail.com

Поступила в редакцию 16.06.2016 г.

В условиях высокой интенсивности пространственной трансформации Московской агломерации (МА) за счет жилищного строительства и миграции насущной задачей становится изучение взаимосвязи этих процессов. В данном исследовании эта задача была решена путем построения модели. Она включает три блока: 1) модель пространственного равновесия для рынков труда и жилья в МА; 2) модель динамического равновесия между миграцией и строительством жилья в МА; 3) модель распределения строительства жилья по зонам МА. В блоке 1 для трех зон МА (центрального делового района, зоны сплошной застройки и зоны нового строительства) с учетом маятниковой миграции определяются равновесные значения населения, занятости и зарплат. В блоке 2 определяется равновесие между уровнем миграции и жилищным строительством в МА, воспроизводящее разрыв в реальных доходах между МА и другими регионами России. Отклонение от равновесия приведет к корректировке стимулов для миграции, а изменение ее уровня восстанавливает равновесие. В блоке 3 показано, как поведение девелоперов за счет адаптации цен на землю определяет локализацию строительства по зонам МА. Несмотря на обобщенный характер модели, она способна воспроизвести ряд тенденций пространственной эволюции МА, в том числе закономерный переход от экстенсивной стадии развития с расположением застройки и гиперуплотнением центра к интенсивной стадии с углубленным освоением основного “тела” города. Модель показывает, как тесно связаны между собой процессы в крупнейшей агломерации страны и национальной системе расселения, как именно политико-экономические процессы через изменение ренты и агломерационного эффекта меняют стимулы для работы, проживания и жилищного строительства в разных зонах агломерации и определяют судьбу городских территорий. Модель описывает также влияние внутренней структуры МА на межрегиональную миграцию. Нарастая строительство, особенно жилья эконом-класса в гринфилд-проектах на периферии агломерации, город неявно принимает решение об увеличении миграции и влияет на всю систему расселения России.

Ключевые слова: пространственное равновесие, жилищное строительство, Московская агломерация, миграция, концентрические зоны, национальная система расселения.

Введение. Московская агломерация (МА) — крупнейший в России сгусток экономической активности, сопоставимый с суммарным населением всех остальных городов-миллионников (по 20 млн человек). В России накоплен большой опыт исследования развития МА [3, 4, 7, 8], получены детальные эмпирические результаты. Вместе с тем, насколько известно автору, в этих исследованиях внутренняя структура МА и взаимодействие в рамках национальной системы расселения рассматривались, как правило, изолированно друг от друга и вне связи с политико-экономическими факторами.

Основные экономические факторы развития МА и всех крупных городов России, а также факторы

формирования межрегионального неравенства — это, во-первых, распределяемая природная рента [10], а во-вторых, агломерационный эффект. За счет агломерационного эффекта в совокупности со статусной рентой в крупных региональных центрах заработная плата на 20–40% больше, а душевой ввод жилья в 2–3 раза выше, чем в среднем по региону [1, 2, 8]. Особенно сильны эти эффекты в крупнейшей агломерации страны — Московской.

Высокий уровень межрегионального неравенства стимулирует миграцию в МА. За постсоветский период именно миграция обеспечила прирост населению МА на 4 млн человек (25% населения агломерации на 1990 г.), в том числе с 2000 г. — на 2.7 млн человек [11]. Такой прирост

населения приводит к глубокой трансформации пространственной структуры агломерации, в первую очередь за счет жилищного строительства. Огромные объемы ввода жилья (9.6–12.6 млн. м² в год в 2004–2015 гг.) меняют распределение населения, рабочих мест, транспортные потоки. Жилищное строительство формируется под воздействием спроса за счет постоянного притока населения и одновременно создает возможность для дальнейшей миграции, сдерживая рост цен на жилье в Московском регионе, которые служат важнейшим барьером для дальнейшего притока населения.

Несмотря на актуальность изучения воздействия межрегионального неравенства и миграции на внутреннюю структуру МА и, напротив, воздействия трансформации самой агломерации на межрегиональное взаимодействие, эта проблема, насколько известно автору, специально эмпирически не исследовалась. Теоретических моделей, комплексно описывающих указанные процессы, в настоящее время также не существует. Классическая модель концентрических зон [12], восходящая к работам фон Тюнена и Э. Берджесса ([13], впервые опубликована в 1929 г.), описывает дифференциацию землепользования в условиях наличия центрального делового района (ЦДР), где сосредоточены рабочие места, и затрат на маятниковую миграцию до него. Наиболее полный обзор современного состояния моделей данного класса представлен в [14]. В этих моделях формируется пространственное равновесие в пределах города, но не затрагиваются проблемы межрегиональной миграции и экономической базы агломерации. Для анализа взаимодействия городской агломерации и национальной системы расселения используются концепции пространственного равновесия Ш. Розена, Дж. Робака, Э. Глезера, Дж. Готтлиба [16, 17, 21, 22], описывающие равновесие с учетом доходов, цен на недвижимость и на землю. Однако в модели, представленной в работе Глезера и Готтлиба, рассматриваются только один пространственный уровень и статическое равновесие. Классической теорией, описывающей взаимное влияние городской агломерации и национальной системы расселения, является теория центральных мест [5], но она не описывает в явном виде рынки труда, земли и недвижимости. Наиболее полно компоненты агломерационного эффекта описывает теория новой экономической географии (НЭГ) П. Кругмана [15, 19], существует также широкий круг эмпирических исследований этого важнейшего явления, в том числе отдельные работы по России [18, 20]. Но в работах в рамках НЭГ почти не рассматривается взаимодействие

с природной рентой, а также с расселением и с рынками недвижимости и земли.

В связи с этим насущной задачей становится построение многоуровневой (полимасштабной) модели, которая в единой рамке интегрирует описание трех взаимосвязанных феноменов в МА:

- трансформации ее внутренней структуры за счет жилищного строительства;
- основных экономических факторов (агломерационного эффекта и ренты);
- миграционного взаимодействия агломерации с национальной системой расселения.

Предложенный в данной работе подход к моделированию включает три блока:

- модель пространственного равновесия для рынков труда и жилья;
- модель динамического равновесия между миграцией в МА и объемом жилищного строительства в агломерации;
- модель распределения строительства жилья по зонам агломерации.

Практическое применение модели требует в первую очередь ее калибровки на реальных данных с формированием расчетного алгоритма и оценкой значений коэффициентов модели (параметризацией).

Допущения, принятые для моделирования. Моделирование столь сложной системы, как МА, требует принятия ряда допущений для упрощения задачи. Основные принятые допущения на уровне национальной экономики, пространственной и экономической структуры МА состоят в следующем. Представленная модель не включает в явном виде фирмы, предполагает совершенный рынок недвижимости в МА, рассматривает зарплату как единственный источник дохода. Все прочие регионы России рассматриваются в модели обобщенно. Модель не учитывает неравенство в Москве и регионах и качественную дифференциацию жилья, не дифференцирует распределение ренты на государственные и корпоративные каналы. Также моделирование не отражает зависимость транспортной ситуации от направлений маятниковой миграции, как и специфические российские факторы рынка недвижимости (дефицит в обеспеченности жильем и т.п.). Даже с принятыми допущениями, значительно упрощающими анализ, модель остается достаточно сложной. Вместе с тем она дает ряд интересных результатов, раскрывающих взаимосвязь пространственной трансформации МА и развития национальной экономики.

Допущения модели на уровне национальной экономики. В модели рассматриваются два объекта — МА и прочие регионы России. Доходы населения — как в столичном регионе, так и в других регионах страны — формируются за счет двух источников: агломерационного эффекта и ренты. Предположим, что Россия получает сырьевую ренту $Rent$. Пусть a — доля Москвы в сырьевой ренте (столичная рента), тогда доля в сырьевой ренте прочих регионов $1 - a$ ¹.

Стоит отметить, что фактически в модели рассматриваются не все иные регионы России, а в первую очередь крупные города, так как именно они конкурируют с Москвой за человеческие ресурсы и за сырьевую ренту, и для них, как для МА, значительную роль играет агломерационный эффект.

Агломерационный эффект в наиболее общем виде — это повышение душевого дохода и продуктивности работников по мере роста размера города. Он заключается в росте эффективности при пространственной концентрации экономической активности и включает три ключевых составляющих [6]: 1) общий пул поставщиков промежуточных товаров и крупный рынок сбыта; 2) общий пул рабочей силы; 3) обмен информацией и идеями между фирмами. Разумеется, агломерационный эффект нелинеен: не следует ожидать, что в городе с населением 10 млн человек душевой доход в 10 раз выше, чем в городе с населением 1 млн человек. Душевой доход по мере роста города возрастает, но медленнее, чем численность населения. Примем для целей моделирования техническое определение: душевой агломерационный эффект — это отношение дохода жителя города к численности его населения. В общем случае, он убывает по мере роста города. Но при относительно небольших ежегодных изменениях численности населения можно считать, что душевой агломерационный эффект линейно зависит от населения.

Поскольку межрегиональная миграция в Московский регион составляет не более 1% от численности его населения, то можно считать, что доход за счет агломерационного эффекта составляет для МА $agl_{Mos} \cdot Pop_{InitMos}$, а для других регионов России соответственно $agl_{Rus} \cdot Pop_{Rus}$. Тогда номинальные

душевые денежные доходы населения прочих регионов России составят:

$$W_{NomRus} = \frac{Rent \cdot (1 - a)}{Pop_{Rus}} + agl_{Rus} \cdot Pop_{Rus}, \quad (1)$$

где $Rent$ — получаемая Россией сырьевая рента (руб.), a — доля Москвы в сырьевой ренте, agl_{Rus} — душевой агломерационный эффект в других регионах России, (руб./чел./чел.), Pop_{Rus} — численность населения других регионов России.

Как легко видеть из уравнения (1), влияние изменения численности населения на душевой доход в регионах России неоднозначно. Если агломерационный эффект, положительно зависящий от численности населения, сильнее рентного фактора, то рост численности населения ведет к росту душевого дохода. Если же рентный фактор сильнее, то, напротив, душевой доход при росте населения снижается.

Допущения модели на уровне пространственной структуры агломерации. Пространственная структура МА в первом приближении может быть описана как концентрическая. В центре (в пределах Третьего транспортного кольца) располагается ядро — центральный деловой район (CBD)². Вне ЦДР, но в рамках МКАД находится зона морфологически сплошной застройки (UBA). Остальную часть “реального города” назовем зоной нового жилищного строительства (NC). Ее можно условно ограничить Московским малым кольцом (трасса А-107), которая близка к рубежу эффективных маятниковых миграций в ЦДР в суточном цикле.

Примем, что внутри каждой зоны затраты времени на поездки до работы в ЦДР одинаковы и составляют для трех указанных зон соответственно D_{CBD} , D_{UBA} , D_{NC} . Можно сказать, что эти показатели отражают эффективный диаметр каждой из зон в часах: для нас важны именно затраты времени на маятниковую миграцию, а не физическое расстояние до ЦДР. При этом затраты времени на маятниковую миграцию в пределах ЦДР D_{CBD} не равны нулю: так как в городе-гиганте это нереально — даже живя в ЦДР, человек будет тратить время на путь до работы. Также примем, что, если человек работает в той же зоне, где живет, то

¹ Разумеется, столичная рента не сводится к доле столицы в сырьевой ренте России, формирующейся в первую очередь за счет экспорта углеводородов (хотя это один из важнейших ее компонентов), так как столичную ренту создает “близость к власти” не только сырьевого бизнеса, но и других экономических игроков. Вместе с тем, для моделирования принципиально важны не источники ренты, а то обстоятельство, что рентные доходы в столице не зависят от численности ее населения, в то время как “агломерационные доходы” — зависят.

² Под ЦДР традиционно понимается не просто центральная часть города, а даунтаун, концентрирующий большую часть занятости в корпоративном управлении. Поскольку для моделирования важен именно аспект концентрации в ЦДР основной части рабочих мест и ренты, то использование понятия ЦДР в модели вполне целесообразно, хотя в Москве нет ярко выраженного даунтауна, а деловой центр смещен на северо-запад и запад от центра города.

поездки до работы требуют столько же времени, что и в ЦДР. Таким образом, D_{CBD} отражает “капиллярную проницаемость” города в целом.

Предположим, что для каждой зоны агломерации спрос на жилье Dem обратно пропорционален цене с коэффициентом c_i и прямо пропорционален населению, а предложение Sup равно наличному жилому фонду. При условии рыночного равновесия $Sup = Dem$ душевые затраты на жилье пропорциональны обеспеченности жильем и ценам:

$$SpEst_i = k_i \cdot Est_i = \frac{k_i \cdot c_i \cdot Pop_i}{Stock_i}, \quad (2)$$

где k_i — обеспеченность жильем ($m^2/чел.$), Est_i — месячная цена аренды недвижимости (руб./ m^2), c_i — эластичность цены по балансу спроса и предложения (руб./чел.), $Stock_i$ — жилой фонд (m^2), i — индекс зоны агломерации.

Допущения модели на уровне экономической структуры агломерации. Как указано выше, доходы населения в Москве формируются за счет двух факторов — агломерационного эффекта и ренты. Примем логичное предположение, что располагаемый объем ренты полностью распределяется в пределах ЦДР, где находится основная часть структур государственного и корпоративно-управления. Также в ЦДР реализуется и часть агломерационного эффекта. Доля зон сплошной застройки и нового строительства в общем агломерационном эффекте равна l_{UBA} и l_{NC} соответственно, доля ЦДР составляет $1 - l_{UBA} - l_{NC}$. Таким образом, сумма номинальных доходов в ЦДР равна сумме ренты и агломерационного эффекта, а в других зонах доходы формируются только за счет агломерационного эффекта.

$$Emp_{CBD} \cdot W_{NomCBD} = \\ = Rent \cdot a + agl_{Mos} \cdot (1 - l_{UBA} - l_{NC}) \cdot Pop_{InitMos}^2, \quad (3)$$

$$Emp_{UBA} \cdot W_{NomUBA} = agl_{Mos} \cdot l_{UBA} \cdot Pop_{InitMos}^2, \quad (4)$$

$$Emp_{NC} \cdot W_{NomNC} = agl_{Mos} \cdot l_{NC} \cdot Pop_{InitMos}^2, \quad (5)$$

где Emp_i — занятость в i -й зоне агломерации (чел.), W_{Nom_i} — номинальные зарплаты в i -й зоне агломерации (руб./чел.), l_{UBA} и l_{NC} — доли зон сплошной застройки и нового строительства в общем агломерационном эффекте, i — индекс зоны агломерации (CBD — для ЦДР, UBA — для зоны сплошной застройки, NC — для нового строительства), остальные обозначения аналогичны обозначениям в уравнении (1).

Логично считать, что реальный доход жителя (W_{Real}) определенной зоны МА зависит от номинального дохода по месту работы W_{Nom} , затрат на

жилье по месту жительства Sp_{est} и затрат на маятниковую миграцию до работы $Comm$:

$$W_{Real} = W_{Nom} - Sp_{est} - Comm. \quad (6)$$

Сами по себе прямые денежные затраты на маятниковую миграцию по сравнению с зарплатами в Москве невелики, но такие поездки “съедают” много часов и, как знает по личному опыту большинство москвичей, весьма утомительны. Поэтому потери в реальном доходе из-за маятниковой миграции намного больше, чем прямые денежные затраты. Исходя из ценности личного времени, затраты на маятниковую миграцию пропорциональны почасовой зарплате $Comm = \frac{D_i \cdot W_{Nom_i}}{H}$.

Тогда для жителя ЦДР, работающего в ЦДР, реальный доход равен:

$$W_{RealCBD} = \\ = W_{NomCBD} - \frac{k_{CBD} \cdot c_{CBD} \cdot Pop_{CBD}}{Stock_{CBD}} - \frac{D_{CBD} \cdot W_{NomCBD}}{H}. \quad (7)$$

Для жителя зоны сплошной застройки, работающего в ЦДР:

$$W_{RealUBA} = \\ = W_{NomCBD} - \frac{k_{UBA} \cdot c_{UBA} \cdot Pop_{UBA}}{Stock_{UBA}} - \frac{D_{UBA} \cdot W_{NomCBD}}{H}. \quad (8)$$

Для жителя зоны сплошной застройки, работающего в ней:

$$W_{RealUBA} = \\ = W_{NomUBA} - \frac{k_{UBA} \cdot c_{UBA} \cdot Pop_{UBA}}{Stock_{UBA}} - \frac{D_{CBD} \cdot W_{NomUBA}}{H}. \quad (9)$$

Для жителя зоны нового строительства, работающего в ЦДР:

$$W_{RealNC} = \\ = W_{NomCBD} - \frac{k_{NC} \cdot c_{NC} \cdot Pop_{NC}}{Stock_{NC}} - \frac{D_{NC} \cdot W_{NomCBD}}{H}. \quad (10)$$

Для жителя зоны нового строительства, работающего в ней:

$$W_{RealNC} = \\ = W_{NomNC} - \frac{k_{NC} \cdot c_{NC} \cdot Pop_{NC}}{Stock_{NC}} - \frac{D_{CBD} \cdot W_{NomNC}}{H}. \quad (11)$$

В уравнениях (7)–(11) W_{reali} — реальные доходы жителей i -й зоны (руб./чел.), D_i — эффективный диаметр зон (час.), H — средняя продолжительность рабочего дня (час.), i — индекс зоны агломерации, остальные обозначения представлены в уравнениях (2)–(5).

Пространственное равновесие в Московской агломерации. В данном блоке на основе принятых и описанных в предыдущем разделе допущений исследуется пространственное равновесие для

рынков труда и жилья МА. Основными входными параметрами для блока являются распределение жилой недвижимости по зонам агломерации, эффективный диаметр зон, совокупное население и интенсивность агломерационного эффекта в агломерации, располагаемый объем ренты. Выходными параметрами для блока являются занятость, население, номинальные и реальные зарплаты по зонам агломерации.

Предпосылки модели пространственного равновесия в агломерации. С точки зрения моделирования пространственного равновесия, ключевой вопрос заключается в выборе людьми места работы и жительства внутри МА. Работники выбирают место жительства, исходя из максимизации реального дохода, который является ключевым параметром равновесия. У работающих в ЦДР есть выбор – жить в ЦДР или в двух других зонах агломерации. Следовательно, в условиях равновесия данные две пространственные стратегии должны обеспечивать равный реальный доход. Тогда реальный доход, описанный выражением (7), должен быть равен выражениям (8) и (10). Работники, живущие в зонах сплошной застройки и нового строительства, также имеют выбор: работать в ЦДР или в своей зоне. И для них альтернативные пространственные стратегии в равновесии должны обеспечивать равный доход, а значит, выражение (8) должно быть равно выражению (9), а выражение (11) – выражению (10). Следует подчеркнуть, что жители действительно сталкиваются с таким выбором, имея возможность снимать жилье разного качества в разных зонах агломерации.

Что означает равенство доходов жителей, использующих разные пространственные стратегии, для пространственного равновесия в агломерации? Из условий равенства доходов при различных вариантах выбора места работы при фиксированном месте жительства – условий (8) = (9) и (10) = (11) – получим:

$$\frac{W_{NomCBD}}{W_{NomUBA}} = \frac{H - D_{CBD}}{H - D_{UBA}}, \quad (12)$$

$$\frac{W_{NomCBD}}{W_{NomNC}} = \frac{H - D_{CBD}}{H - D_{NC}}. \quad (13)$$

Данные условия означают, что разница в уровне номинальных зарплат в ЦДР и в других зонах должна компенсировать затраты на маятниковые поездки в центр города.

Из условий равенства доходов при различных вариантах выбора места работы при фиксированном месте жительства – условий (7) = (8) и (7) = (10) – получим:

$$\frac{(D_{UBA} - D_{CBD}) \cdot W_{NomCBD}}{H} = \frac{k_{CBD} \cdot c_{CBD} \cdot Pop_{CBD}}{Stock_{CBD}} - \frac{k_{UBA} \cdot c_{UBA} \cdot Pop_{UBA}}{Stock_{UBA}}, \quad (14)$$

$$\frac{(D_{NC} - D_{CBD}) \cdot W_{NomCBD}}{H} = \frac{k_{CBD} \cdot c_{CBD} \cdot Pop_{CBD}}{Stock_{CBD}} - \frac{k_{NC} \cdot c_{NC} \cdot Pop_{NC}}{Stock_{NC}}. \quad (15)$$

Данные условия означают, что разница в стоимости недвижимости между зонами формируется за счет различий в затратах на маятниковую миграцию (напомним еще раз – не только прямых затратах, но и косвенных, с учетом ценности затрачиваемого на них времени). По сути, эти условия в совокупности предполагают равенство реальных доходов независимо от места жительства и места работы (при различии номинальных доходов, компенсирующих стоимость недвижимости и затраты на маятниковую миграцию). Другое дело, что это верно только для работников одной профессии и квалификации, но предложенная модель пока не учитывает неоднородность работников и неравенство.

Формирование пространственного равновесия в агломерации. Если считать заданными пул жилой недвижимости, эффективный диаметр зон и население МА, то можно построить систему из девяти уравнений с девятью неизвестными. В ней неизвестны занятость в трех зонах, население трех зон и зарплаты в трех зонах – выходные параметры данного блока модели.

В систему входят следующие уравнения:

$$Emp_{CBD} \cdot W_{NomCBD} = Rent \cdot a + agl_{Mos} \cdot (1 - l_{UBA} - l_{NC}) \cdot Pop_{InitMos^2}, \quad (16)$$

$$Emp_{UBA} \cdot W_{NomUBA} = agl_{Mos} \cdot l_{UBA} \cdot Pop_{InitMos^2}, \quad (17)$$

$$Emp_{NC} \cdot W_{NomNC} = agl_{Mos} \cdot l_{NC} \cdot Pop_{InitMos^2}, \quad (18)$$

$$\frac{W_{NomCBD}}{W_{NomUBA}} = \frac{H - D_{CBD}}{H - D_{UBA}}, \quad (19)$$

$$\frac{W_{NomCBD}}{W_{NomNC}} = \frac{H - D_{CBD}}{H - D_{NC}}, \quad (20)$$

$$\frac{(D_{UBA} - D_{CBD}) \cdot W_{NomCBD}}{H} = \frac{k_{CBD} \cdot c_{CBD} \cdot Pop_{CBD}}{Stock_{CBD}} - \frac{k_{UBA} \cdot c_{UBA} \cdot Pop_{UBA}}{Stock_{UBA}}, \quad (21)$$

$$\frac{(D_{NC} - D_{CBD}) \cdot W_{NomCBD}}{H} = \frac{k_{CBD} \cdot c_{CBD} \cdot Pop_{CBD}}{Stock_{CBD}} - \frac{k_{NC} \cdot c_{NC} \cdot Pop_{NC}}{Stock_{NC}}, \quad (22)$$

$$Emp_{CBD} + Emp_{UBA} + Emp_{NC} = Pop_{InitMos}, \quad (23)$$

$$Pop_{CBD} + Pop_{UBA} + Pop_{NC} = Pop_{InitMos}. \quad (24)$$

Обозначения для уравнений представлены в уравнениях (2)–(5), (7)–(11).

Уравнения (16)–(18) задают ограничения на объем доходов по зонам агломерации. Уравнения (19) и (20) задают пропорции душевых доходов между зонами агломерации. Уравнения (21) и (22) определяют распределения населения по зонам агломерации с учетом градиента доходов и распределения жилого фонда. Уравнения (23) и (24) задают ограничения на суммарную численность населения всех зон и суммарную занятость³. Решив представленную систему уравнений, мы получаем возможность определить все параметры равновесия – распределение занятости, населения и номинальных доходов⁴.

Влияние различных факторов на пространственное равновесие. Какие же закономерности пространственной организации МА позволяет выявить полученное решение? Часть зависимостей от внутренних и внешних условий очевидна из полученных решений; для определения некоторых зависимостей необходимо рассмотреть производную по соответствующему параметру⁵.

Для начала рассмотрим полученное решение для занятости в ЦДР:

$$Emp_{CBD} = \frac{Rent \cdot a + agl_{Mos} \cdot (1 - l_{UBA} - l_{NC}) \cdot Pop_{InitMos}^2}{agl_{Mos} \cdot Pop_{InitMos} \cdot \left(agl_{Mos} \cdot Pop_{InitMos} \cdot (1 + A) + \frac{Rent \cdot a}{Pop_{InitMos}} \right)} \quad (25)$$

В данном выражении A – параметр, отражающий близость районов локализации агломерационного эффекта к ЦДР:

$$A = l_{UBA} \cdot \left(\frac{H - D_{CBD}}{H - D_{UBA}} - 1 \right) + l_{NC} \cdot \left(\frac{H - D_{CBD}}{H - D_{NC}} - 1 \right).$$

Как можно видеть, уровень занятости в ядре агломерации положительно зависит от распределяемой в России ренты и от доли Москвы в ренте; отрицательно – от доли периферийных зон в агломерационном эффекте. Эти зависимости очевидны: чем больше финансовых ресурсов

сосредоточено в ЦДР, тем выше привлекательность работы в данной зоне агломерации и соответственно равновесная занятость. Кроме того, занятость в ЦДР положительно зависит от затрат на маятниковую миграцию в пределах ЦДР и отрицательно – от затрат на маятниковую миграцию между внешними зонами и ЦДР. Это тоже естественно: чем выше преимущества работы в ЦДР и меньше издержки, связанные с поездками в даунтаун, тем больше работников предпочитает работать в нем.

Решение системы уравнений, описывающей пространственное равновесие в агломерации, для номинального душевого дохода в ЦДР выглядит следующим образом:

$$W_{NomCBD} = agl_{Mos} \cdot Pop_{InitMos} \cdot A + \frac{Rent \cdot a}{Pop_{InitMos}}. \quad (26)$$

Уровень номинального душевого дохода в ядре агломерации положительно зависит от распределяемой в России ренты, от доли Москвы в ренте, от интенсивности агломерационного эффекта в Москве и доли ЦДР в нем. Это естественно: чем больше финансовых ресурсов сосредоточено в ЦДР, тем выше номинальные зарплаты. В то же время чем выше затраты на маятниковую миграцию между внешними зонами и ЦДР, тем больший финансовый стимул необходим для привлечения работников из других зон. Схожие зависимости наблюдаются и для остальных зон агломерации: номинальные зарплаты определяются концентрацией ресурсов в каждой зоне (общим объемом “пирога” доходов в МА) и ее сравнительной привлекательностью с точки зрения затрат времени на маятниковые миграции (в распределении “пирога”).

Моделирование показывает и менее тривиальный результат: существует некое критическое значение численности населения Москвы, до которого рост населения ведет к росту номинального душевого дохода в ЦДР, а после, напротив, к снижению. Эта сложная зависимость аналогична

³ При полной занятости экономически активного населения, что реалистично при безработице около 2%. Аппарат модели может быть адаптирован для снятия этого ограничения.

⁴ Решение данной системы уравнений и систем уравнений, описанных ниже, громоздко и не укладывается в ограничения на размер статьи. Приложения с решением предоставляются читателям по запросу.

⁵ Расчет производных в рамках данного уравнения, а также уравнений (35) и (41) не выходит за рамки основ математического анализа. Приложения с решением предоставляются читателям по запросу.

другим регионам России: как показано в предыдущем разделе, если агломерационный эффект, положительно зависящий от численности населения, сильнее рентного фактора, то рост численности населения ведет к росту душевого дохода. Если же рентный фактор сильнее, то, напротив, душевой доход при росте населения снижается. В результате возникает важный механизм пространственного равновесия на национальном уровне: после превышения некоторого критического уровня, дальнейший рост численности

населения МА за счет миграции начинает подрывать экономическую привлекательность города, хотя ранее “машина роста” работала без сбоев и самоусиливалась. Есть определенные основания полагать, что к настоящему времени Москва уже вплотную подошла к этому критическому уровню.

Итак, мы проанализировали равновесное решение для занятости и зарплаты в ЦДР и знаем, где работают жители агломерации и сколько зарабатывают. Следующий вопрос – а где они живут? Равновесное решение для населения ЦДР таково:

$$Pop_{CBD} = \frac{Pop_{InitMos} \cdot Stock_{CBD}}{Stock_{CBD} + Stock_{UBA} + Stock_{NC}} + \frac{Stock_{CBD} \cdot Stock_{NC} \cdot (D_{NC} - D_{CBD}) + Stock_{CBD} \cdot Stock_{UBA} \cdot (D_{UBA} - D_{CBD})}{H \cdot k \cdot c \cdot (Stock_{CBD} + Stock_{UBA} + Stock_{NC})} \cdot W_{NomCBD}. \quad (27)$$

Естественно, что готовность людей работать и жить в ЦДР определяется в первую очередь погодой “за длинным рублем” – высокими доходами, которые можно получить в деловом центре города. Соответственно, чем больше ресурсов в ЦДР (выше рента в Москве, сильнее агломерационный эффект и его концентрация в ЦДР) и чем больше преимущество жизни в ЦДР с точки зрения снижения затрат на маятниковую миграцию, тем больше людей готово мириться с проблемами скученности и загрязнения. Однако хотеть жить в ЦДР недостаточно; нужно еще иметь достаточно средств, чтобы оплачивать дорогое жилье. Поэтому население ЦДР отрицательно зависит от эластичности затрат на жилье по балансу спроса и предложения: чем меньше институциональных барьеров на рынке недвижимости и норма обеспеченности жильем, чем больше людей живет в ЦДР.

Решение уравнения (27), как и в случае уравнения (26), показывает и менее тривиальный результат: существует некое критическое значение численности населения Москвы, до которого рост населения ведет к росту населения ЦДР, а после, напротив, к снижению. Иными словами, уплотнение населения в ЦДР возможно только до некоторого предела; если же данный порог превышен, то цены на жилье в ядре города растут настолько, что начинается вытеснение жителей на периферию агломерации. К слову, эта цепочка причинно-следственных связей является одной из причин феномена джентрификации через вытеснение из центра города низкодходных групп населения.

Подведем промежуточный итог. Моделирование пространственного равновесия в МА позволило связать сдвиги внутри города с политико-экономическими источниками доходов города, а через них – и с процессами глобального уровня. Казалось бы, какое отношение имеют мировые цены на нефть к численности населения центра Москвы и занятости в историческом ядре города? Моделирование показывает, что прямое: через изменение уровня ренты меняются и стимулы для работы и проживания в разных зонах агломерации. Кроме того, моделирование показывает, что рост численности населения города выше некоторого предела перестает вести к росту зарплаты и населения ЦДР и начинает работать на снижение доходов и децентрацию расселения. Эти результаты свидетельствуют о наличии важных нелинейных зависимостей и механизмов пространственного равновесия в городе и в России в целом.

Модель взаимодействия жилищного строительства и миграции. В данном блоке исследуется равновесие между жилищным строительством в МА и межрегиональной миграцией в столичный регион на основе анализа воздействия жилищного строительства на цены на жилье, а через них – на реальные доходы населения в Московском регионе и соответственно на стимулы для миграции. Входные параметры блока включают население и силу агломерационного эффекта в Москве и других крупнейших городах России, распределение между ними ренты и ее общую величину. Входные параметры, характеризующие процессы внутри агломерации,

аналогичны первому блоку модели (см. предыдущий раздел). На выходе определяется равновесное соотношение между жилищным строительством в МА и межрегиональной миграцией в столичный регион. Тем самым появляется возможность теоретически определить ожидаемый уровень межрегиональной миграции в агломерацию при данном уровне жилищного строительства в Московском регионе или, наоборот, равновесный ввод жилья в агломерации, обеспечивающий сохранение стимулов для дальнейшей миграции.

Предпосылки модели и оценка реального дохода в агломерации. На втором шаге моделирования введем дополнительные факторы — жилищное строительство (меняет пул жилой недвижимости) и межрегиональную миграцию (меняет население МА и прочих городов России). В модели фактически рассматриваются в первую очередь города с населением более 300 тыс. чел., так как именно они конкурируют с Москвой за человеческие ресурсы [9].

Ключевая задача модели — оценка взаимосвязи равновесной величины Imm и равновесного объема строительства жилья в МА $Constr$. В рамках градиентных моделей миграции логично предположить, что межрегиональный приток населения в Москву пропорционален разнице в реальных доходах, $Imm = q \cdot (W_{RealMos}^{Init} - W_{RealRus}^{Init})$ с некоторым коэффициентом q . Мы наблюдаем устойчивый чистый приток населения в Московский регион⁶. Между тем логично думать, что коэффициент q , отражающий трение пространства, по крайней мере в среднесрочной перспективе более или менее постоянен. Тогда стабильность миграционного потока в рамках градиентной модели требует стабильности разрыва в реальном доходе между МА и регионами⁷.

В связи с этим ключевой вопрос для моделирования заключается в оценке реального дохода населения в Москве и прочих регионах России до

миграции и после нее. Для регионов мы не моделируем затраты на маятниковую миграцию, поэтому реальный доход жителя регионов зависит от номинального дохода и затрат на жилье:

$$W_{RealRus}^{Init} = \frac{Rent \cdot a}{agl_{Rus} \cdot Pop_{Rus}} + agl_{Rus} \cdot Pop_{Rus} - \frac{k_{rus} \cdot c_{rus} \cdot Pop_{rus}}{Stock_{rus}}. \quad (28)$$

Обозначения аналогичны уравнениям (1), (2).

Разницу в затратах на жилье между МА и прочими регионами обязательно нужно учитывать, так как иначе сравнение номинальных доходов не отражает соотношение реального уровня жизни: затраты на жилье в Москве много выше и способны “съесть” значительную часть разницы в номинальных зарплатах. А вот индекс прочих потребительских цен как раз можно не принимать во внимание, так как между крупными городами России он различается намного слабее, чем цены на жилье.

В силу единства рынка труда МА реальный доход с учетом затрат на жилье и на маятниковую миграцию во всех зонах одинаковый, как это показано в предыдущем разделе. Поэтому для сравнения с регионами можно рассматривать реальный доход в ЦДР до миграции и строительства жилья:

$$W_{RealCBD} = W_{NomCBD} - \frac{k_{mos} \cdot c_{mos} \cdot Pop_{CBD}}{Stock_{CBD}} - \frac{D_{CBD} \cdot W_{NomCBD}}{H}. \quad (29)$$

Подставим сюда решения для W_{NomCBD} и Pop_{CBD} , полученные в рамках анализа пространственного равновесия в предыдущем разделе (формулы (26) и (27)). Тогда получим:

$$W_{RealMos}^{Init} = (1 - T) \cdot \left(agl_{Mos} \cdot Pop_{IniMos} \cdot A + \frac{Rent \cdot a}{Pop_{IniMos}} \right) - \frac{Pop_{IniMos} \cdot k_{mos} \cdot c_{mos}}{Stock_{CBD} + Stock_{UBA} + Stock_{NC}}, \quad (30)$$

где T — средневзвешенное реальное расстояние от жилого фонда до рабочих мест в ЦДР:

⁶ Более 200 тыс. чел. в год в 2012–2013 гг., более 200 тыс. чел. в год в среднем в 1990–2015 гг. в Москву и Московскую область, без учета перетоков между ними. Российский статистический ежегодник (РСЕ), 2015, с. 86, 100, РСЕ, 2010–2014. Режим доступа: http://www.gks.ru/free_doc/doc_2015/year/ejegod-15.pdf

⁷ Миграционные процессы реагируют именно на различия реального, а не номинального дохода, поэтому гипотеза об устойчивом разрыве в реальном доходе не противоречит отражаемому в статистике изменению соотношения доходов номинальных.

$$T = \frac{D_{UBA} \cdot (Stock_{UBA} + Stock_{NC}) + D_{NC} \cdot Stock_{NC} + D_{CBD} \cdot Stock_{CBD}}{H \cdot (Stock_{CBD} + Stock_{UBA} + Stock_{NC})}. \quad (31)$$

Таким образом, мы получили выражения для реального дохода в МА и в других городах России.

Равновесный объем строительства в пределах Московской агломерации. Рассмотрим ситуацию в следующем периоде, когда вводится построенное жилье и происходит миграция в МА. На данном этапе⁸ примем, что строительство распределено по зонам пропорционально исходному пулу недвижимости. Тогда средневзвешенное реальное расстояние от жилого фонда до центра Т не меняется⁹, и реальный душевой доход после миграции составит:

$$W_{RealMos}^{Next} = (1 - T) \times \left(agl_{Mos} \cdot (Pop_{InitMos} + Imm) \cdot A + \frac{Rent \cdot a}{Pop_{InitMos} + Imm} \right) - \frac{(Pop_{InitMos} + Imm) \cdot k_{mos} \cdot c_{mos}}{Constr}, \quad (32)$$

где *Constr* — объем жилищного строительства в Москве (м²). Строительство жилья в других регионах для упрощения модели не учитывается. Тогда в регионах России реальный душевой доход после миграции составит:

$$W_{RealRus}^{Next} = \frac{Rent \cdot a}{agl_{Rus} \cdot (Pop_{Rus} - Imm)} + agl_{Rus} \times \left((Pop_{Rus} - Imm) - \frac{k_{rus} \cdot c_{rus} \cdot (Pop_{Rus} - Imm)}{Stock_{rus}} \right). \quad (33)$$

Уравнения (30)–(33), описывающие реальный доход в МА и регионах России до и после миграции и жилищного строительства, позволяют сформировать ключевое условие динамического равновесия, обеспечивающего устойчивый приток населения в МА:

$$W_{RealMos}^{Next} - W_{RealRus}^{Next} = W_{RealMos}^{Init} - W_{RealRus}^{Init}. \quad (34)$$

⁸ В блоке 3 модели, описанном ниже, аналитически определяется распределение нового строительства по зонам агломерации. Разумеется, оно далеко от равномерного, и блок 3 модели позволяет проанализировать зависимость локализации строительства по зонам от внутренних и внешних факторов. Однако на данном этапе для упрощения расчетов целесообразно не учитывать это обстоятельство.

⁹ Изменение средневзвешенного расстояния от жилого фонда до центра из-за строительства весьма мало, так как годовой ввод жилья составляет 2.5% жилого фонда МА.

Таким образом, мы исследуем не статическое пространственное равновесие, как в работе Глезера и Готтлиба [16], а динамическое равновесие между строительством и миграцией в Москву¹⁰. Суть условия равновесия в том, что миграция в МА и жилищное строительство при постоянных внешних условиях должны взаимно компенсировать друг друга так, что разрыв в реальных доходах между Москвой и регионами, формирующий стимул для миграции, и соответственно сама миграция в следующем периоде не меняются.

Если в результате миграции в агломерацию и жилищного строительства в ней разрыв в реальных душевых доходах вырастет, это будет вести к усилению миграции. Дополнительные мигранты увеличат спрос на жилье и соответственно цены на него, что приведет к снижению реального дохода в МА. Кроме того, как показано выше, после определенного уровня рост численности населения ведет к снижению доходов, так как негативные последствия снижения душевой ренты начинают превышать позитивный эффект за счет агломерационного эффекта. Дополнительная миграция будет идти до тех пор, пока она не станет столь велика, что разрыв душевых доходов вернется к исходному уровню.

Иными словами, миграционный приток в МА задает соответствующий ему равновесный объем строительства, при отклонении от которого стимулы для миграции будут меняться. Изменение миграционного притока, в свою очередь, приведет к изменению спроса на жилье и соответственно строительства, пока они не вернуться к равновесным значениям. И наоборот, если мы считаем, что строительство жилья нам известно, то можно аналитически рассчитать ожидаемый приток населения в МА. Отклонение миграции от равновесного уровня изменит разрыв в душевом доходе между Москвой и регионами, что приведет к формированию стимулов для корректировки миграционного потока.

¹⁰ Для России статическое равновесие, предполагающее равенство реального дохода во всех городах с учетом корректировки номинального дохода на индекс потребительских цен, уровень цен на недвижимость и внешнеэкономические факторы привлекательности, значительно менее реалистично, чем для США.

Подставим в уравнение (34), задающее постоянство разрыва в реальном доходе между МА и регионами, выражения (30)–(33), описывающие реальный доход в МА и в регионах России до и после миграции и жилищного строительства. Полученное уравнение с помощью ряда технических приемов можно свести к линейному виду, а затем проанализировать зависимость полученного результата от внутренних и внешних условий.

В результате получаем равновесное соотношение объемов строительства в МА и миграции в столичный регион:

$$\frac{Constr}{Imm} = \frac{Stock_{mos}}{Pop_{InitMos}} + \frac{Stock_{mos}^2}{Pop_{InitMos} \cdot k_{mos} \cdot c_{mos}} \times \left(Rent \cdot \frac{1-a}{Pop_{InitMos}^2} + agl_{rus} - \frac{k_{rus} \cdot c_{rus}}{Stock_{rus}} - (1-T) \cdot agl_{Mos} \cdot (1+A) + (1-T) \cdot \frac{Rent \cdot a}{Pop_{InitMos}^2} \right). \quad (35)$$

Это один из важнейших результатов модели, так как уравнение раскрывает взаимосвязь между процессами общенационального и агломерационного уровня, объединяя их в единое целое.

Влияние различных факторов на равновесный объем строительства. Какие же закономерности во взаимодействии МА с национальной системой расселения позволяет выявить полученное решение?

Чем больше распределяемая в России рента, тем меньше способность МА аккумулировать миграцию при данном объеме жилищного строительства. Зависимость способности аккумулировать миграции от доли Москвы в распределяемой в России природной ренте носит более сложный характер. Если население Москвы меньше некоторого критического уровня, то чем больше доля Москвы в ренте, тем меньше способность МА аккумулировать миграцию при данном объеме жилищного строительства. Иными словами, действуют механизмы равновесия, и если Москва перетягивает на себя слишком большой кусок общенационального “пирога”, то, парадоксальным образом, ее способность притягивать население снижается, а не растет. Такая контринтуитивная зависимость (казалось бы, увеличение ренты в Москве должно усиливать способность столицы притягивать миграцию) объясняется просто. Если большая часть доходов формируется за счет ренты, то снижение душевой ренты в Москве и ее рост в регионах после миграции оказывает на реальные доходы более сильное влияние, чем усиление агломерационного эффекта в столице при его

ослаблении в регионах из-за оттока. В результате равновесие достигается при меньшей величине миграции.

Однако если население Москвы больше некоего критического уровня по отношению к общему населению городов-миллионников, которые конкурируют с МА за человеческий потенциал, то картина меняется на противоположную. Рост доли столицы в ренте ведет к дальнейшему усилению стимулов для миграции и территориальной концентрации — замыкается петля положительной обратной связи, и процесс концентрации населения и ренты начинает самоусиливаться. Перешла ли МА данную критическую черту? Для оценки этого уровня необходима полноценная эмпирическая верификация модели.

Чем сильнее агломерационный эффект в МА, тем больше ее способность аккумулировать миграцию при данном объеме жилищного строительства. Это естественно: сильный агломерационный эффект позволяет при большом притоке мигрантов компенсировать снижение душевой ренты. Вместе с тем, чем сильнее агломерационный эффект в других регионах России, тем больше способность МА аккумулировать мигрантов при данном объеме жилищного строительства. Объяснение этого неожиданного результата состоит в том, что при сильном агломерационном эффекте отток в Москву вызывает сильное падение душевых доходов в регионах, и пока этот эффект не будет скомпенсирован ростом душевой ренты, отток будет продолжаться, поэтому равновесный уровень миграции становится выше.

Таким образом, мы получаем важный вывод: чем сильнее агломерационный эффект (как в столице, так и в других региональных центрах), тем меньше устойчивость национальной системы расселения, так как возникают положительные обратные связи от миграции, а из-за ренты — отрицательные. Иными словами, агломерационный эффект служит фундаментальным источником нестабильности системы расселения, давая крупным центрам нарастающее преимущество. Распределяемая рента, как и земельные и природные ресурсы и промышленный потенциал — все источники доходов, относительно слабо зависящие от численности населения города, — напротив, стабилизируют систему расселения. Этот парадокс, возможно, отчасти объясняет ускорение миграции в Москву в постсоветский период, когда в формировании доходов возросла доля секторов с наиболее выраженным агломерационным эффектом (корпоративное управление, бизнес-услуги, ИТ-сфера) при снижении роли относительно

промышленности, в которой агломерационный эффект слабее и проявляется на больших расстояниях.

Наконец, можно проанализировать и роль внутриагломерационных факторов в определении равновесного уровня миграции. Чем меньше средневзвешенное реальное расстояние от жилого фонда до ЦДР и чем большая доля агломерационного эффекта сосредоточена на периферии Москвы, а не в ЦДР, тем больше способность МА аккумулировать миграцию при данном объеме жилищного строительства. При уменьшении реального расстояния до ЦДР и сдвиге агломерационного эффекта на периферию, где живет большинство мигрантов, да и москвичей вообще, снижаются затраты на маятниковую миграцию, мигранты в Москву получают больший выигрыш в реальном доходе, и медленнее сказываются отрицательные последствия миграции. Иными словами, на миграционные процессы на национальном уровне влияют особенности внутренней территориальной структуры МА — одно из сильных проявлений переплетения разноуровневых процессов, для понимания которых необходим полимасштабный подход и математическое моделирование.

Таким образом, равновесное соотношение объема строительства в МА и миграции в столичный регион зависит как от общенациональных факторов, так и от пространственной структуры МА. Миграционные процессы зависят не только от межрегионального неравенства, но и от пространственной структуры крупнейшей агломерации страны. И наоборот, ее пространственная трансформация определяется характером процессов на общенациональном уровне — этот вопрос будет рассматриваться в следующем разделе.

Модель распределения строительства по зонам Московской агломерации.

Предпосылки модели распределения строительства по зонам агломерации. Во втором блоке модели (в предыдущем разделе) оценивался только равновесный общий объем строительства в Московском регионе в условиях межрегиональной миграции, без дифференциации его интенсивности по зонам агломерации. В данном блоке такая дифференциация осуществляется на основе моделирования равнодоходности девелоперских проектов с учетом параметров как рынка жилья, так и рынка земли. Помимо уже использованных в блоках 1 и 2 параметров на вход модели подаются распределение свободной земли по зонам агломерации и параметры эластичности на рынке земли. В сочетании с полученной выше оценкой

общего объема строительства это позволяет изучить зависимость пространственной трансформации агломерации от внешних и внутренних условий. Тем самым решается следующая задача — определить равновесное распределение строительства по зонам МА.

Распределение строительства по зонам агломерации определяется его сравнительной прибылью для девелоперов. Прибыль в расчете на единицу жилья (на квадратный метр) равна разности между ценой на реализуемую недвижимость и затратами на строительство, которые можно разделить на два компонента — затраты на землю и собственно себестоимость строительства *Cost*, которые будем считать равными для всех зон. Логично предположить, что спрос на землю обратно пропорционален цене с некоторым коэффициентом и прямо пропорционален объему строительства, предложение земли равно свободному земельному фонду с учетом потенциальной плотности нового жилищного строительства. Тогда при равенстве спроса и предложения равновесные цены на землю будут равны:

$$L_i = \frac{e_i \cdot Constr_i}{FL_i \cdot \rho_i}, \quad (36)$$

где e_i — эластичность цены на землю по балансу спроса и предложения (руб./га), $Constr_i$ — объем строительства (m^2), FL_i — свободный земельный фонд (га), ρ_i — предельная плотность ($m^2/га$), i — индекс зоны агломерации.

Тогда прибыль девелоперов в расчете на единицу жилья составит:

$$Profit = R \cdot Est_i - Cost - \frac{e_i \cdot Constr_i}{FL_i \cdot \rho_i^2}, \quad (37)$$

где *Cost* — собственно себестоимость строительства, руб./ m^2 , а стоимость недвижимости оценена как капитализация доходов от владения недви-

жимостью $Real_i = Est_i \cdot R$, где $R = \sum_{t=1}^{t=m} \frac{1}{(1+\sigma)^t}$, где t — годы, σ — ставка дисконтирования, а остальные обозначения аналогичны уравнению (37).

В силу единства московского рынка недвижимости для целей моделирования можно принять, что удельная прибыльность строительства во всех зонах тяготеет к выравниванию. Разумеется, в реальности дифференциация прибыльности проектов весьма значительна в зависимости от сегмента рынка, стадий реализации, лоббистских возможностей отдельных девелоперов, эффективности их работы и т.д. Тем не менее в тенденции удельная прибыль строительства выравнивается за счет

ориентации девелоперов на наиболее прибыльные зоны для реализации своих девелоперских проектов, что усиливает между ними конкуренцию за землю и снижает доходность в наиболее привлекательных зонах. Сравним прибыльность строительства для ЦДР и зоны сплошной застройки, считая коэффициенты e , c , ρ равными для всех трех зон:

$$\begin{aligned} \frac{R \cdot c \cdot Pop_{InitCBD}}{Stock_{CBD}} - Cost - \frac{e \cdot Constr_{CBD}}{\rho^2 \cdot FL_{CBD}} &= \\ = \frac{R \cdot c \cdot Pop_{InitUBA}}{Stock_{UBA}} - Cost - \frac{e \cdot Constr_{UBA}}{\rho^2 \cdot FL_{UBA}} & \\ R \cdot c \cdot \left(\frac{Pop_{InitCBD}}{Stock_{CBD}} - \frac{Pop_{InitUBA}}{Stock_{UBA}} \right) &= \\ = \frac{e}{\rho^2} \cdot \left(\frac{Constr_{CBD}}{FL_{CBD}} - \frac{Constr_{UBA}}{FL_{UBA}} \right). \end{aligned} \quad (38)$$

Аналогичное выражение справедливо и для зоны нового строительства:

$$\begin{aligned} R \cdot c \cdot \left(\frac{Pop_{InitCBD}}{Stocks_{CBD}} - \frac{Pop_{InitNC}}{Stock_{NC}} \right) &= \\ = \frac{e}{\rho^2} \cdot \left(\frac{Constr_{CBD}}{FL_{CBD}} - \frac{Constr_{NC}}{FL_{NC}} \right). \end{aligned} \quad (39)$$

Обозначения для данных формул представлены в уравнениях (2)–(5), (7)–(11), (36), (37).

Это означает, что разница в стоимости земли между зонами определяется разностью в стоимости жилья, которая, в свою очередь, как показано выше, формируется за счет разницы в затратах на маятниковую миграцию. Между тем в предыдущем разделе мы получили выражение для общего объема строительства в МА при данном уровне миграции (35): $Constr_{CBD} + Constr_{UBA} + Constr_{NC} = Constr$. Получаем систему из трех уравнений (уравнения (38), (39) и ограничение на суммарный объем строительства) с тремя неизвестными – объемом строительства по зонам.

Равновесное распределение строительства по зонам агломерации. Данную систему уравнений можно решить с учетом результатов для распределения населения и номинального дохода по зонам агломерации, полученных выше (уравнения (25)–(27)). Распределение строительства удобно выразить через центральный эксцентриситет – превышение объема строительства в ЦДР по сравнению с ожидаемым объемом при распределении пропорционально свободной земле:

$$Ex_{CBD} = Constr_{CBD} - Share_{CBD} \cdot Constr, \quad (40)$$

где $Share_{CBD}$ – доля ЦДР в свободной для застройки земле. Аналогично можно рассчитать и периферийный эксцентриситет – аналог для зоны нового строительства.

Полученное решение для центрального эксцентриситета таково:

$$\begin{aligned} Ex_{CBD} &= \frac{\rho^2}{e} \cdot \frac{D_{UBA} - D_{CBD}}{H \cdot k} \times \\ \times S \cdot \left(agl_{Mos} \cdot Pop_{InitMos} \cdot A + \frac{Rent \cdot a}{Pop_{InitMos}} \right). \end{aligned} \quad (41)$$

В данном выражении S – параметр, отражающий степень близости свободной земли для нового строительства к ЦДР:

$$\begin{aligned} S &= (D_{UBA} - D_{CBD}) \cdot FL_{CBD} - Share_{CBD} \cdot (D_{UBA} - D_{CBD}) \times \\ &\times FL_{CBD} + Share_{CBD} \cdot (D_{NC} - D_{UBA}) \cdot FL_{NC}. \end{aligned}$$

Какие же закономерности пространственной трансформации МА позволяет выявить полученное решение? Центральный эксцентриситет положительно зависит от распределяемой в России ренты и от доли Москвы в общенациональной ренте, величины агломерационного эффекта в Москве и его концентрации в ЦДР. Получается неожиданный вывод: макроэкономические параметры оказывают значимое влияние на то, что именно и где строят в МА. Их влияние не является пространственно нейтральным, хотя, казалось бы, почему общие факторы должны иметь конкретные пространственные последствия? Но моделирование показывает, что судьба отдельных городских территорий зависит не только от факторов городского уровня, но и от политико-экономических феноменов национального и даже мирового уровня. Такой подход открывает новый горизонт анализа локальных процессов.

Как и при распределении населения и занятости, в локализации строительства проявляется принцип сравнительного транспортного преимущества: концентрация застройки в каждой зоне усиливается по мере роста затрат на маятниковую миграцию для других зон и ослабевает по мере роста затрат на маятниковую миграцию в данной зоне.

Как и при анализе распределения населения в агломерации и миграции (блоки 1 и 2 модели), проявляются неожиданные пороговые эффекты. Существует некое критическое значение численности населения Москвы, до которого рост населения ведет к росту концентрации строительства в ЦДР и в зоне нового строительства, а после, напротив, к его концентрации в зоне сплошной

застройки. Иными словами, модель воспроизводит закономерный переход от экстенсивной стадии развития с расползанием городской застройки и гиперуплотнением центра к интенсивной стадии, с новой волной углубленного освоения основного “тела” города. Тенденции развития Московской агломерации в течение последних пяти лет идут именно в этом направлении, особенно за счет интенсивного строительства с внешней стороны Третьего транспортного кольца.

Далее, увеличение доли ЦДР в свободной земле ведет не просто к росту его доли в строительстве (это естественно), но и к росту “избыточного” строительства в ЦДР. Кроме того, концентрация строительства в ЦДР стимулируется наличием свободной земли на периферии агломерации (в зоне нового строительства), но дестимулируется наличием свободной земли в зоне сплошной застройки. Аналогично, концентрация строительства в зоне нового строительства стимулируется наличием свободной земли не только в самой этой зоне, но и в ЦДР. Этот неожиданный эффект, не очевидный из предпосылок модели, означает, что в рамках экстенсивного типа развития существует структурное соответствие между расползанием городской застройки и гиперуплотнением центра.

Наконец, полученное решение показывает, что чем сильнее барьеры на рынке земли, сильнее ограничения плотности и чем ниже норма обеспеченности жильем, тем меньше строят в центре и на периферии, но больше в промежуточной зоне. Социальные нормы и регулятивные факторы влияют на выбор между экстенсивной и интенсивной моделью городского роста. Например, в позднесоветское время все эти факторы способствовали вводу жилья в зоне сплошной застройки, и пространство в пределах МКАД быстро заполнялось новыми микрорайонами. Напротив, в 1990-е и 2000-е годы регулирование резко ослабло, стандарты жилищного строительства возросли, в том числе за счет роста неравенства, и все указанные факторы стали стимулировать экстенсивную модель. В последние годы, напротив, началось обратное движение к усилению регулирования плотности застройки и рынка земли, а также рост роли эконом-класса на рынке жилья, что согласуется со смещением акцента в сторону интенсивного развития.

Заключение. Моделирование развития МА позволило связать судьбу отдельных городских территорий и пространственные изменения в городе не только с факторами городского уровня, но и с политико-экономическими источниками доходов городской экономики, а через них — с процессами глобального уровня. Моделирование

показывает, как именно через изменение уровня ренты и агломерационного эффекта меняются стимулы для работы и проживания в разных зонах агломерации и как глобальные процессы влияют на то, что именно и где строят в МА.

Верно и обратное: на миграционные процессы на национальном уровне влияют особенности внутренней структуры МА (расстояние от жилого фонда до ЦДР и распределение агломерационного эффекта по зонам агломерации). Жилищное строительство в МА — феномен общенационального значения, воздействие которого сказывается по всей стране. Пространственные решения московских властей оказывают значимое влияние и на другие крупнейшие агломерации России через изменение стимулов для миграции — а за много лет миграция становится фундаментальным фактором развития городских экономик и всей национальной системы расселения России. Принимая решение о наращивании объемов строительства, особенно жилья эконом-класса в гринфилд-проектах на периферии агломерации, город неосознанно принимает также решение об увеличении миграции из других регионов России.

Предложенная модель показывает, насколько тесно интегрированы между собой процессы в крупнейшей городской агломерации страны и в национальной системе расселения, и насколько необходимы для понимания этих процессов полимасштабный подход и математическое моделирование. Практическое применение модели требует в первую очередь ее калибровки на реальных данных, а также перехода к множеству зон в МА и множеству регионов России. Но если для трех зон модель имеет аналитическое решение, то при большем числе зон решение возможно только численными методами, так как количество переменных по мере роста числа зон растет быстрее количества уравнений. В результате можно только определить равновесное состояние системы, исходя из оптимизации агентами поведения по принятым критериям.

Моделирование позволяет выявить неожиданные пороговые эффекты и важный механизм равновесия на национальном уровне: после превышения некоего критического уровня дальнейший рост численности населения МА за счет миграции начинает подрывать экономическую привлекательность города, хотя ранее “машина роста” работала без сбоев. При этом чем сильнее агломерационный эффект в столице и в других региональных центрах, тем меньше устойчивость национальной системы расселения, так как возникают положительные обратные связи от

миграционного притока. Рента, природные ресурсы и промышленный потенциал — источники доходов, слабее (по сравнению с отраслями сферы услуг с наиболее выраженным агломерационным эффектом) зависящие от населения города — напротив, стабилизируют систему расселения.

Несмотря на весьма обобщенный характер модели, она уже в существующем виде способна воспроизвести целый ряд тенденций пространственной эволюции МА в последние десятилетия, в первую очередь закономерный переход от экстенсивной стадии развития с расползанием городской застройки и гиперуплотнением центра к стадии, характеризующейся усилением интенсивного вектора развития с углубленным освоением основного “тела” города. Исходя из общих факторов (высокий уровень ренты, слабое регулирование, доступность земли в ЦДР), модель указывает, что в 2000-е годы наиболее интенсивную трансформацию следовало ожидать в ЦДР и ближнем Подмоскowie. Так и происходило: рост агломерации шел по экстенсивной модели. Модель раскрывает структурное соответствие между расположением городской застройки и гиперуплотнением центра в рамках экстенсивного типа развития. Исходя из изменения общих факторов, модель указывает, что в 2010-е годы ожидается смещение акцента в сторону интенсивного развития “тела” города (между ТТК и МКАД), и такие тенденции действительно формируются. Как представляется, эти теоретические результаты показывают продуктивность подходов к изучению развития городской агломерации в контексте национальной системы расселения на основе математического моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дружинин А. Г. Пространственные возможности и барьеры постиндустриального развития региональной метрополии (на примере Ростова-на-Дону) // Региональные исследования. 2013. № 2. С. 25–32.
2. Зубаревич Н. В. Крупные города России: лидеры и аутсайдеры // Демоскоп Weekly. 2013. № 551–552. С. 15–30.
3. Зубаревич Н. В. Москва на фоне других крупнейших городов России: что показывает статистика // Социальная политика, экспертиза, рекомендации, обзоры. 2012. № 17. С. 57–68.
4. Зубаревич Н. В. Рента столичного статуса // Pro et Contra. 2012. Т. 16. № 6 (57). С. 6–18.
5. Лёш А. Пространственная организация хозяйства. М.: Наука, 2007. 663 с.
6. Маршалл А. Основы экономической науки. М.: Эксмо, 2007. 832 с.
7. Махрова А. Г., Нефёдова Т. Г., Трейвиш А. И. Московская область сегодня и завтра: тенденции и перспективы пространственного развития. М.: Новый хронограф, 2008. 344 с.
8. Махрова А. Г., Нефёдова Т. Г., Трейвиш А. И. Пространственные тенденции социально-экономического развития Московской агломерации // Территория и планирование. 2012. № 4 (40). С. 18–34.
9. Мкртчян Н. В. Динамика населения регионов России и роль миграции: критическая оценка на основе переписей 2002 и 2010 гг. // Изв. РАН. Сер. геогр. 2011. № 5. С. 28–41.
10. Полтерович В. М., Попов В. В., Тонис А. С. Концентрация доходов, нестабильность демократии и экономический рост // Экономика и математические методы. 2009. Т. 45. № 1. С. 15–29.
11. Росстат. http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138623506156
12. Alonso W. Location and Land Use; Toward a General Theory of Land Rent. Cambridge, MA: Harvard University Press. 1964. 204 p.
13. Burgess E. W. The growth of the city: an introduction to a research project // Park R. E., Burgess E. W., McKenzie R. D. The city. Chicago and London: The University of Chicago Press, 1967. P. 47–62.
14. Duranton G. and Puga D. Urban Land Use // Handbook of Regional and Urban Economics V. 5 / Duranton, G., Henderson V., Strange W. (Eds.). Amsterdam: Elsevier, 2015. P. 467–560.
15. Fujita M., Krugman P., and Venables A. J. The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1999. 380 p.
16. Glaeser E. L. and Gottlieb J. D. The Wealth of Cities: Agglomeration Economies and Spatial Equilibrium in the United States // J. of Economic Literature, American Economic Association. 2009. Vol. 47 (4). P. 983–1028.
17. Glaeser E. Cities, Agglomeration and Spatial Equilibrium, Oxford: Oxford University Press, 2008. 336 p.
18. Kauffmann A. The Russian Urban System in Transition: The View of New Economic Geography. Vienna, Austria: ERSA conference papers, 2013. 22 p.
19. Krugman P. Development, Geography, and Economic Theory. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1995. 117 p.
20. Mikhailova T. Transportation Infrastructure and Labor Market Integration: the Moscow Oblast Case. 2013. <http://freepolicybriefs.org/2013/02/11/transportation-infrastructure-and-labor-market-integration-the-moscow-oblast-case/>
21. Roback J. Wages, Rents, and the Quality of Life // J. of Political Economy. 1982. Vol. 90 (6). P. 1257–1278.
22. Rosen Sh. Wages-based indexes of urban quality of life // Current Issues in Urban Economics / P. Mieszkowski, M. Straszheim (Eds.). Baltimore: John Hopkins Univ. Press, 1979. P. 74–104.

Housing Construction in Moscow Agglomeration: Spatial Equilibrium Modelling

N. K. Kurichev

*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
e-mail: nk.kurichev@gmail.com*

In conditions of intense spatial transformation of Moscow agglomeration (MA), driven by housing construction and migration from Russian regions to MA, urgent task is to build a integrated model of key economic and spatial drivers and outcomes of the transformation. In the article a new model of spatial equilibrium in MA is developed. The model includes three modules: 1) spatial equilibrium model for labour and housing markets in MA; 2) model of dynamic equilibrium between migration and housing construction in MA; 3) model of distribution of housing construction by zones of MA. In the first module equilibrium values of the population, employment and wages are predicted for concentric zones of MA (central business district – CBD, urban zone and zone of new construction). In the second module the equilibrium between migration from Russian regions to MA and new housing construction is shown. The deviation from equilibrium leads to an adjustment of incentives for migration, change of migration flows and finally rebalancing of equilibrium and reproducing of real income gap between MA and other Russian regions. The module 3 describes distribution of housing construction by concentric zones of MA, providing equal profitability of development projects due to adjustment of land prices.

Despite the rather generic nature of the model, it is already able to reproduce several trends in spatial evolution of the MA in recent decades, especially the transition from extensive development phase with the spread of urban area in the Moscow suburbs in oil spot fashion and hyper-dense development of CBD, to intensive phase with in-depth development of the main “body” of the city. The model stresses how closely are integrated processes in the largest agglomeration (of Russia and in the national settlement system. The model shows how the political and economic processes through changes in rents and agglomeration effect change incentives for work, life and construction in different areas of MA and form the fate of different urban territories. The model describes the reverse side of the coin, how interregional migration is affected by the internal structure of the Moscow agglomeration. When making decision on the promotion of housing construction, especially large-scale economy-class greenfield projects of on the periphery of agglomeration, the city implicitly accepts the decision to increase migration from Russian regions, affecting the national system of settlement in Russia.

Keywords: spatial equilibrium, housing construction, Moscow agglomeration, migration, concentric zones, national settlement system.

doi:10.15356/0373-2444-2016-6-44-58