

Р. В. Дмитриев

Использование гравитационных моделей для пространственного анализа систем расселения

К настоящему моменту в отечественной науке сложилось достаточно четкое представление о развитии взаимосвязанных совокупностей населенных пунктов – систем расселения. В отличие от большого числа иных понятий демографии и географии населения, термин «система расселения», введенный в научный оборот почти пятьдесят лет назад К.К. Шешельгисом [1], оказался достаточно «устойчивым» и практически не изменил своего первоначального значения под влиянием последующих достижений в этих областях научного знания. Однако использование системного подхода для выявления тенденций развития групп поселений, расположенных на сравнительно небольшом расстоянии друг от друга, привело к необходимости установления иерархической структуры данных образований.

Предложенную отечественными исследователями типологию систем расселения [2. С. 445] можно считать не только достаточно объективной, но и не потерявшей своей актуальности вплоть до настоящего времени. При

этом в качестве составных единиц локальных, региональных и общегосударственных систем расселения выступают город, агломерация и надаломерационное образование, соответственно. Соединенные стабильными хроно-хорологическими связями, они образуют устойчивые во времени пространственные структуры, являющиеся отражением не последовательно, но параллельно протекающих этапов эволюции расселения.

Нерешенным остается главный вопрос – каким образом может быть установлен характер указанных связей и определена их интенсивность? При выделении локальных систем расселения, частным случаем которых являются агломерации населенных пунктов, чаще всего используется показатель временной дальности маятниковых передвижений населения зоны поселений-спутников, прилегающей к главному городу-ядру [3. С. 98–99]. В предыдущих исследованиях нами был установлен тот факт, что данная методика неприменима для региональных систем расселения [4. С. 6–8].

Достаточно точные результаты могут быть получены при использовании альтернативных способов определения границ систем расселения. В качестве одного из них нами предлагается применение гравитационных моделей, основанных на законах всемирного тяготения Ньютона, взаимодействия точечных электрических зарядов Кулона и т.д. При этом в их основе лежит оценка уровня взаимодействия между телами или элементарными частицами, расположенными на определенном расстоянии друг от друга. Общее скалярное математическое выражение данных законов выглядит следующим образом:

$$F_{12} = k \times \frac{a_1 \times a_2}{R^2} \quad (1)$$

где: F_{12} – сила взаимодействия между телами (зарядами и т.п.),
 a_1, a_2 – их массы (заряды и т.п.),
 R – расстояние между ними,
 k – коэффициент пропорциональности (гравитационная постоянная и т.п.).

В географии населения и геодемографии использование указанных законов воплотилось, в первую очередь, в концепции демографического потенциала, или потенциала поля расселения (так предложили называть его О. А. Евтеев и С. А. Ковалев [5. С. 397–426]). При этом, по мнению Б. С. Хорева, этот показатель «... измеряет относительную доступность или возможность взаимодействия, контактов людей, живущих в какой-либо точке поля расселения ... с остальным населением этого поля...» [6. С. 30]. К настоящему моменту предложено достаточно большое количество формул для его определения, которые объединяет лишь условие обратной зависимости между силой

взаимодействия между населенными пунктами (потенциалом поля расселения) и расстоянием между ними. Достаточно существенные отличия между подходами к определению потенциала поля расселения заключаются в ответах на следующие вопросы:

- 1) необходимо ли рассматривать взаимодействие между парой (точнее, парами) населенных мест, или достаточно выяснить, каков потенциал на данной территории каждого из пунктов в отдельности;
- 2) всегда ли показатель степени при R равен двум.

При этом ответ на первый вопрос в достаточной степени вариативен, поскольку в данном случае выбор зависит от целей исследования. Если на первый план выдвигается разграничение территории в соответствии с принадлежностью той или иной ее части зоне влияния населенного пункта, то следует рассматривать взаимодействие между парами пунктов. В этом случае полученные зоны будут представлять собой своего рода узловые районы. Если же исследователь ставит перед собой цель выявления количественного показателя степени влияния того или иного населенного пункта в данной точке, то идти следует по второму пути. В этом случае, что очень важно, допускается пересечение зон влияния городов, более подробно о котором будет сказано ниже. В данном случае числитель выражения (1) будет представлять собой произведение не трех (как в исходном уравнении), а двух множителей: численности населения того города, потенциал которого на расстоянии мы ищем, и коэффициента пропорциональности.

Модификация применяемой нами методики была использована Дж. Стюартом при введении таких поня-

тий, как «демографическая сила», «демографическая энергия» и, собственно, «демографический потенциал» [7. С. 31–58].

В качестве промежуточного вывода отметим, что при соблюдении налагаемых нами условий, очевидно, демографический потенциал¹ во всех точках, находящихся на равном расстоянии от изучаемого города, будет одинаков. Важнейшим следствием этого является тот факт, что зоны влияния городов $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ теоретически должны представлять собой круги радиусом R_{xk} .

Вернемся ко второму вопросу относительно уравнения (1). В одном из своих исследований У. Изард подчеркивал, что он «... не обязательно должен равняться 1 или 2 в зависимости от концепции исследователя» [8]. Действительно, выбор показателя степени во многом определяется тем, рассматриваем ли мы демографический потенциал того или иного пункта на какой-либо территории (в этом случае число степеней свободы равно двум) или в пределах какого-либо пространства (число степеней свободы равно трем)². Известную неопределенность в этом отношении создает и весьма точный вывод Б.Б. Родомана, заключающийся в том, что «... территория – пространство “двухполовинной мерное”» [9]. Однако размерность показателя степени при R (равно как и значение коэффициента пропорциональности) зависит от свойств самой системы населенных мест. Последняя, как было показано А.Д. Арманом, обладает способностью к самоорганизации и саморегулированию [10], что делает тезис о закономерной смене

указанных выше показателей не таким уж фантастическим.

В этой связи мы можем утверждать, что коэффициент пропорциональности k и показатель степени при R , соответственно, устраняют не только складывающуюся в результате расчетов неопределенность вида человек/км ^{x} , но и учитывают внутренние свойства самой системы: густоту расположения населенных пунктов, их относительную доступность и т.п. В подтверждение этого сошлемся также на работу П. Мерлена, где он трактует показатель степени при R как параметр, который «... характеризует транспортную проницаемость территории» [11. С. 202]. В этом случае значения демографического потенциала для городов с одинаковой людностью, но принадлежащих разным системам расселения, вообще говоря, будут отличаться.

Итак, мы ответили на два вопроса относительно уравнения (1). В этом случае последнее примет следующий вид:

$$V_i = k \times \frac{P_i}{R_i^x}, \quad (2)$$

где V_i – демографический потенциал населенного пункта;

P_i – численность населения последнего;

R_i – расстояние от пункта i до точки, в которой ищется значение демографического потенциала;

k – коэффициент пропорциональности;

x – показатель степени, характеризующий транспортную проницаемость территории.

¹ Применение именно этого термина в данном случае, на наш взгляд, более уместно.

² Здесь считаем уместным добавить, что значение показателя степени при R , выявленное эмпирически, обычно принадлежит интервалу [2–3] и зачастую является дробным числом.

Теперь перейдем собственно к методике определения границ зоны влияния города, основанной на уравнении (2). При этом введем допущение о постоянстве значения коэффициента пропорциональности k и показателя степени при R для всех локальных систем расселения в рамках одной страны. Действительно, если рассматривать локальные системы расселения (к которым относятся и городские агломерации) как трансформирующиеся «в унисон» неотъемлемые части систем расселения регионального / общегосударственного уровня, то подобное допущение является вполне правомерным. В этом случае демографический потенциал в той или иной точке исследуемой территории будет зависеть лишь от значений людности городов, расположенных на расстоянии R_x от нее. Очевидно, что потенциалы, создаваемые каждым городом из установленной группы в той или иной точке, в общем случае будут отличаться. При этом тот из них, который будет иметь наибольшее значение, получил название «главного потенциала».

Отметим, что использование метода главных потенциалов с целью выявления зон влияния городов встречается в географической и демографической литературе достаточно часто. В качестве примера сошлемся на высказывание А.Н. Демьяненко о том, что «... зоны влияния крупных городов, которые в значительной мере определяют пространственную структуру страны, действительно можно определить, используя простой, но весьма эффективный метод главных потенциалов» [12. С. 155–172]. Результатом выявления главных потенциалов является разделение территории на зоны в зависимости от преобладающего значения в их пределах потенциала того или иного города.

Однако если при разработке теории возможность введения определенных допущений весьма ограничена, то при разработке моделей (в том числе при проведении эмпирических исследований) подобный подход не только вероятен, но и зачастую необходим. При этом в качестве такого рода допущений мы считаем возможным ввести следующие:

1) ограничение количества населенных пунктов, создающих в пределах исследуемой территории главные потенциалы, а также точек, в которых рассчитываются указанные потенциалы;

2) максимизация главных потенциалов, т.е. анализ потенциально возможных зон влияния наибольшей площади при данной численности населения городов, упомянутых в п. 1.

Последнее допущение выполняется при $x = x_{min} = 2$. При этом, в отличие от допущения 1, оправданность его применения не столь очевидна. Однако, учитывая, что рассматриваемая территория подразделяется на зоны влияния нескольких населенных пунктов, увеличение подобных зон будет наблюдаться для всех создающих потенциал городов. В таком случае увеличение зоны влияния одного из них неизбежно будет ограничиваться подобным же увеличением для другого / других. Как представляется, в этом случае определенная свобода исследователя в выборе показателя степени при R будет достаточно сильно влиять не на размер и даже не на форму тех или иных зон влияния городов. В зависимости от выбора первоначального значения сравнительно сильно будут подвержены изменениям лишь конфигурации краевых участков зон.

Подобные участки, очевидно, образованы множеством точек, в которых рассчитывается главный потен-

циал. При этом на практике подобный расчет весьма затруднителен в силу большого их числа. Именно для этого вводится допущение 1. С учетом последнего главные потенциалы рассчитываются не для всех точек, образующих те или иные множества, а для тех, чьи территориальные характеристики отличны от остальных.

Опираясь на статистические данные о людности городов, создающих главные потенциалы, а также площадях территорий, в административных центрах которых рассчитывается главный потенциал, мы можем нанести на карту зоны влияния городов и вычислить их площади. Тем не менее, мы должны учитывать, что полученные зоны являются скорее «идеальными» вариантами при максимальном уровне влияния городов (максимальном главном потенциале). В реальности, однако, указанные зоны будут иметь не-

сколько иные площади и конфигурации, поскольку степень влияния того или иного города зависит не только от его собственных характеристик (людности), но и от его расположения по отношению к иным центрам, создающим «свои» главные потенциалы.

Итак, выявив первичные, «идеальные» зоны влияния городов, мы должны перейти к установлению их «реальных» границ. Конфигурация последних, как было показано выше, зависит от уникальных особенностей исследуемой территории. В этом случае допущение о минимальном значении показателя степени x при R уже не может считаться справедливым. Выше мы пришли к выводу, что в общем случае зона влияния города представляет собой круг, площадь которого, как известно из курса геометрии, равна $S_i = \pi R_i^2$. Подставляя соответствующее значение R_i в уравнение (2), получаем:

$$V_i = \frac{k \times P_i}{\left(\frac{S_i}{\pi}\right)^{\frac{x}{2}}} \Leftrightarrow R = \left(\frac{S_i}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{k}{V_i}\right)^{\frac{1}{x}} \times P_i^{\frac{1}{x}} \quad (3)$$

В этом случае, очевидно, зависимость величины радиуса зоны влияния города от людности последнего представляет собой степенную функцию вида $a = n \times b^m$. Однако данное предположение о виде указанной зависимости, как представляется, требует проверки методом выравнивания (линеаризации данных) [13]. Для этого прологарифмируем обе части (3): в этом случае, очевидно, мы получим линейную зависимость между $\lg\left(\frac{S_i}{\pi}\right)$ и $\lg P_i$. Если последняя подтвердится максимальным значением величины достоверной аппроксимации для линейной функции,

то и предположение о степенном «характере» исходной функции является верным¹.

Итак, мы выявили уравнение, которым описывается изменение радиуса зон влияния городов в зависимости от людности последних для совокупности локальных систем расселения в границах исследуемой территории. Учитывая, что идеальная зона влияния города должна представлять собой круг, найдем радиусы этих фигур для каждого из городов. Очевидно, что указанные расстояния будут меньше тех, которые должны были бы наблюдаться при мак-

¹ Строго говоря, указанная зависимость может аппроксимироваться и функциями другого вида.

симальном размере зон влияния. В этом случае совокупность зон влияния, складывающихся в зависимости от реально наблюдаемых геометрических и популяционных характеристик территории, не будет представлять собой единого целого. Иными словами, определенные участки могут принадлежать зонам влияния нескольких городов (при перекрытии зон влияния) или не принадлежать ни одной из них.

При этом наагломерационными могут считаться структуры, образованные пересекающимися реальными зонами влияния городов при условии, что подобных пересечений существует не менее трех. В противном случае подобные образования скорее напоминают крупные конурбации либо агломерации.

Использование изложенной выше методики позволило нам в одном из исследований выделить на территории партнера России по группе БРИКС – Индии – три региональные системы расселения [14. С. 148-159]. При этом необходимо отметить высокую степень корреляции результатов, полученных нами и рядом зарубежных ученых [15]. Иными словами, предложенная модель может считаться достаточно точной, однако она имеет некоторые явно слабые стороны:

1) несоответствие между идеальной (круговой) и реальной формами зон влияния городов. Очевидно, необходимо учесть «рассредоточение» зон вдоль наиболее оживленных транспортных магистралей с перспективой выхода на урбанистические розетки;

2) математический аппарат требует усложнения – использования функций нескольких переменных, определяющих изменение значений радиусов зон влияния. В противном случае несистемные изменения численности населения городов будут приводить к аномальным вариациям значений площадей зон их влияния.

Тем не менее, необходимо отметить, что выделенные на основе предлагаемой методики зоны влияния городов ни в коей мере не заменяют собой собственно агломерации в их классическом понимании. Правоммерно говорить лишь о наибольшей вероятности существования агломераций именно в пределах выделенных зон влияния городов. Иными словами, в качестве отправной «точки» для выбора той ограниченной территории, в пределах которой исследователем предполагается наличие взаимосвязанной совокупности населенных мест, может выступать именно зона влияния того или иного города.

Литература

1. *Шешельгис К.К.* Единая система расселения на территории Литовской ССР: Автореф. дисс. ... д-ра архитектуры. Каунас, 1966.
2. *Народонаселение.* Энциклопедический словарь / Гл. ред. Г. Г. Меликьян. М.: Большая Российская энциклопедия, 1994.
3. *Ланно Г.М.* География городов. М.: ВЛАДОС, 1997.
4. *Дмитриев Р. В.* Роль наагломерационных структур в формировании опорного каркаса расселения Индии: Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. М., 2011.
5. *Евтуев О.А., Ковалев С.А.* Население и трудовые ресурсы // Социально-экономические карты в комплексных региональных атласах. М.: МГУ, 1968.
6. *Хорев Б.С.* Проблемы городов (урбанизация и единая система расселения в СССР). М.: Мысль, 1975.
7. *Stewart J. Q.* Demographic Gravitation:

- Evidence and Applications // Sociometry. 1948. Vol. 11. No. 1/2.
8. **Изард У.** Методы регионального анализа: введение в науку о регионах / Сокр. пер. с англ. В.М. Гохмана, Ю.Г. Липеца, С.Н. Тагера. М.: Прогресс, 1966.
 9. **Родоман Б. Б.** География, районирование, картоиды. Смоленск: Ойкумена, 2007.
 10. **Арманд А. Д.** Самоорганизация и саморегулирование географических систем. М.: Наука, 1988.
 11. **Мерлен П.** Город. Количественные методы изучения. М.: Прогресс, 1977.
 12. **Демьяненко А. Н.** Развитие России глазами страноведа (о книге А.И. Трейвиша «Город, район, страна и мир») // Пространственная экономика. 2010. № 3.
 13. **Тюканов А. С.** Основы численных методов. URL: http://physics.herzen.spb.ru/library/01/01/nm_labs/index.htm (дата обращения: 24.05.2011).
 14. **Дмитриев Р. В.** Роль мегарегионов в трансформации территориальной структуры хозяйства Индии // Вестник ЛГУ им. А.С. Пушкина. 2011. № 4.
 15. **Florida R., Gulden T., Mellander Ch.** The Rise of the Mega Region. Toronto: The Martin Prosperity Institute, 2007.

Ю. А. Симагин

Динамика численности населения малых городских поселений

Демографические характеристики населения существенно различаются в городских населенных пунктах разного размера — городах-миллионерах, больших, средних, малых [1. С. 87–88]. В Российской Федерации, кроме городов, городскими населенными пунктами являются также поселки городского типа (ПГТ), которые можно считать сверхмалыми городскими поселениями, так как примерно в половине из них проживает менее 5 тыс. человек. ПГТ появились в 1920-е гг., когда перед первой советской переписью населения в стране было упорядочено разделение населенных пунктов на городские и сельские. Небольшие размеры не мешали сети ПГТ успешно развиваться в советский период (см. табл. 1). К 1990-м годам по количеству поселков

городского типа в стране было примерно в 2 раза больше, чем городов, и проживало в них 13,5 млн человек.

За последние 20 лет количество поселков городского типа и численность населения в них существенно сократились; здесь проживает почти в 2 раза меньше жителей, чем в начале 1990-х годов. Около 50% этого сокращения пришлось на административно-территориальные преобразования поселков в сельские населенные пункты, что связано с изменившимися социально-экономическими условиями. В 1990-е годы большинство ПГТ стало терять население, а промышленные предприятия в них в результате острого экономического кризиса закрылись или резко сократили число занятых. В итоге многие ПГТ утратили необходимую минимальную численность на-