



Серия «Науки о Земле»  
2014. Т. 8. С. 133–144  
Онлайн-доступ к журналу:  
<http://isu.ru/izvestia>

---

---

ИЗВЕСТИЯ  
*Иркутского  
государственного  
университета*

---

---

УДК 910

## Математико-картографическое моделирование межрегиональных миграционных потоков в России

С. А. Тимонин ([ser\\_timonin@yandex.ru](mailto:ser_timonin@yandex.ru))

И. Н. Тикунова ([tikunov@geogr.msu.su](mailto:tikunov@geogr.msu.su))

Й. Штробл ([josef.strobl@sbg.ac.at](mailto:josef.strobl@sbg.ac.at))

**Аннотация.** Статья посвящена детальному анализу межрегиональных миграционных перемещений в России в 2000–2010 гг. на основе использования математико-картографических моделей миграции. Исследование нацелено на применение математических и новых геоинформационных подходов для разработки прогнозов межрегиональных миграционных перемещений, что является крайне трудной задачей для демографов и географов. Результаты моделирования включены в общие модели прогноза численности и структуры населения регионов России, а также будут использованы для управления миграционными процессами в России в условиях общей депопуляции населения и сокращения его трудовых ресурсов. Исключительно важным оказался учет пространственного аспекта, что потребовало привлечения географического, в том числе геоинформационного методов исследования. Разработаны новые математические модели, необходимые для описания и прогноза миграции, которые будут описаны ниже. Подготовлена серия карт, отражающих миграционные перемещения в 2000–2010 гг., а также карты динамики, учитывающие особенности демографических процессов в России.

**Ключевые слова:** миграции, математико-картографическое моделирование, регионы России.

### Введение

Анализ и прогнозирование миграционных потоков в России является крайне актуальной и трудоемкой задачей. С геодемографической точки зрения механическое движение населения наряду с естественным движением населения является важным компонентом изменения численности населения территории. Так, в современной России в затянувшийся период интенсивной убыли населения (с 1993 г.) внешняя миграция населения<sup>2</sup> играла важнейшую роль в «торможении» общей убыли населения страны (рис. 1). В 2011 г. положительное сальдо миграции превысило естественную убыль на-

---

<sup>2</sup> Здесь и далее речь идет исключительно об официально регистрируемой миграции на постоянное место жительства, с 2011 г. также в статистический учет включены лица, зарегистрированные по месту пребывания на срок 9 мес. и более.

селения, что привело к общему приросту населения. По данным оперативной отчетности за январь–октябрь 2012 г. в России наблюдалось увеличение численности за счет естественного и миграционного прироста; при этом миграционный прирост составил 99,7 % от общего прироста населения.

Трудности, возникающие в ходе исследования миграционных процессов, связаны с самим определением миграции населения, особенностями статистического учета мигрантов и миграционных перемещений, полнотой исходных данных, той парадигмой, в рамках которой выполняется исследование.



Рис. 1. Динамика и компоненты изменения численности населения России в 1990–2012 гг., тыс. чел. Источник: Росстат

\*Данные за 2010 г. приведены по материалам оперативной отчетности (без корректировки по результатам ВПН-2010); \*\* в соответствии с международными рекомендациями с 2011 г. в статистический учет долгосрочной миграции населения включены также лица, зарегистрированные по месту пребывания на срок 9 мес. и более; \*\*\*данные оперативной отчетности за январь–октябрь 2012 г.

### Информационная база

Информационной основой исследования послужили официальные статистические материалы, собираемые и не всегда публикуемые Росстатом, а также наборы пространственных данных, необходимые для создания картографических материалов и моделирования размещения населения и миграционных потоков. Основным статистическим массивом данных послужила миграционная матрица, описывающая миграционные потоки между сельскими и городскими населенными пунктами субъектов РФ за 2000–2010 гг. На данном этапе исследования информация была агрегирована до вида «регион – регион», откуда была «вычленена» внутрирегиональная миграция.

Для удобства обработки данных, последующего анализа, картографирования и геоинформационного моделирования была создана тематическая база данных, состоящая из базы пространственных данных (БПД), в которой хранятся сведения о пространственных объектах (геометрия и идентификаторы для связи со статистическими данными), и статистической БД. Необходимость такого разделения продиктована дифференциацией задач статистического и пространственного анализа, с одной стороны, и легкостью их соединения при использовании математико-картографических и геоинформационных моделей, с другой.

Как и любое сложное явление, миграция населения может быть классифицируема по ряду оснований. Некоторые из них были особенно важны при проведении данного исследования. Во-первых, география миграционных потоков или направления передвижения мигрантов. Нами преимущественно рассматривались внутрироссийские межрегиональные перемещения типа «субъект РФ – субъект РФ».

Во-вторых, время пребывания мигранта в регионе-реципиенте, или точнее – форма его регистрации. В исследование включались только граждане, сменившие регистрацию по месту жительства, а с 2011 года также лица, зарегистрированные по месту пребывания на срок 9 мес. и более. В-третьих, наличие регистрации у мигранта, т. е. его правовое положение. Нами рассматривались только официально зарегистрированные мигранты, учтенные статистикой. Важно отметить, что непосредственно учет мигрантов происходит не в момент переезда, а в момент регистрации прибывших по постоянному месту жительства и снятия с регистрации выбывших с постоянного места жительства на основе заполнения ими регистрационных листов. Таким образом, статистика отражает не число переехавших, а количество фактов регистрации по постоянному месту жительства. С 2007 г. статистическому учету подлежат и мигранты, впервые получившие разрешение на временное проживание.

Динамика внутренней миграции в России представлена на рис. 2. Анализ графика свидетельствует о снижении внутренней мобильности в России на протяжении последних двадцати лет (за исключением 1994 и 1995 гг.). В то же время в последние три года наметилась тенденция к росту числа внутренних переселенцев. В большей степени наблюдающийся рост числа внутренних мигрантов связан с изменениями в статистическом учете мигрантов (см. выше). Однако и среди внутренних мигрантов на ПМЖ также наблюдается небольшой рост (см. рис. 2).



Рис. 2. Динамика внутренней миграции в России в 1990–2012 гг., млн чел.  
Источник: Росстат

Очевидно, что внутренняя межрегиональная миграция не оказывает прямого влияния на изменение численности России в целом, однако призвана выполнять важнейшую роль в перераспределении населения и отдельных социальных групп по территории страны. На современном этапе как никогда остро стоит вопрос эффективного управления межрегиональными переселениями. По мнению многих исследователей, оптимизация данных процессов позволит улучшить геополитическую, демографическую и социально-экономическую ситуацию во многих российских регионах. Стадии принятия тех или иных мер предшествует объективный анализ межрегиональных миграционных процессов, который позволил выявить, описать и наглядно визуализировать основные особенности миграционных перемещений между федеральными округами и субъектами Российской Федерации.

### Картографирование и анализ миграций

Все территории европейского Севера, востока Сибири и Дальнего Востока, за редким исключением, теряли население на протяжении 2000-х гг. (рис. 3). В 2010 г. положительное сальдо миграции наблюдалось в 3 федеральных округах: Центральном (за счет Московского региона и Белгородской области), Северо-Западном (вследствие положительного сальдо миграции в Санкт-Петербурге и Ленинградской области), а также в Южном (за счет Краснодарского края). В азиатской части России лишь в трех субъектах наблюдался положительный баланс сальдо миграции (Новосибирской, Томской и Свердловской областях); а также в Республике Татарстан (Приволжский ФО) и в Республике Ингушетия (Северо-Кавказский ФО).

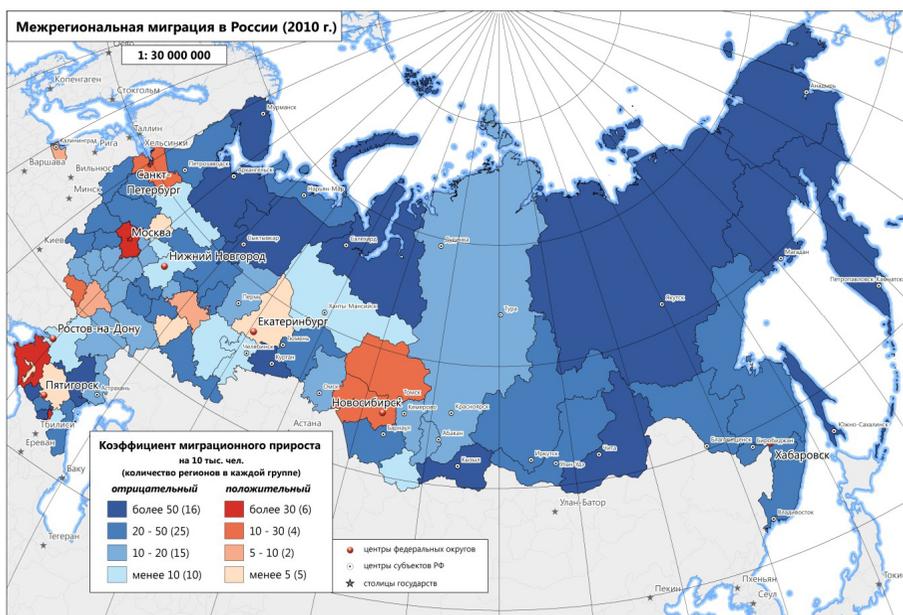


Рис. 3. Межрегиональная миграция в России, 2010 г.

Основными центрами притяжения внутренних мигрантов (доля прибывших в данные регионы выше 2 % от общего числа внутренних мигрантов) остаются вышеупомянутые регионы, а также Тюменская и Ростовская области, Ставропольский и Красноярский край, Республика Башкортостан. Однако для последних субъектов РФ характерно большее число эмигрантов, нежели иммигрантов. Отметим, что мигранты, переезжающие в восточные регионы-реципиенты (Новосибирскую, Томскую, Свердловскую области), в основном проживают в соседних субъектах, в то время как в принимающие регионы центральной части России стекаются мигранты со всей страны. Миграционные связи занимающей срединное положение Республики Татарстан представлены на рис. 4.

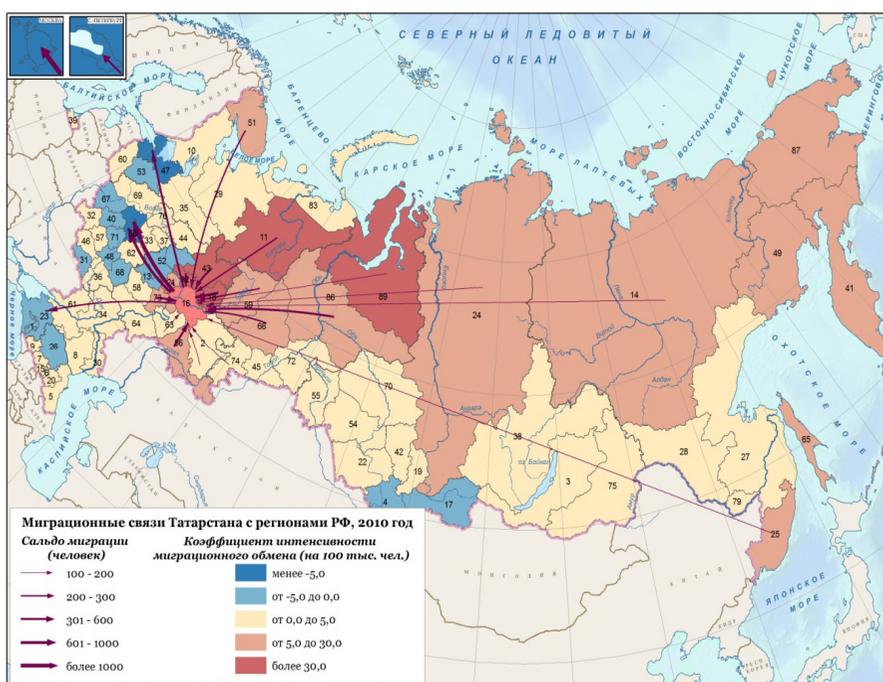


Рис. 4. Миграционные связи Республики Татарстан с регионами России, 2010 г.

Валовые показатели межрегиональной миграции (сумма прибывших и выбывших в/из региона), представленные в виде карты изолиний на рис. 5, наглядно демонстрируют основные ядра миграции. Крупнейшие из них – Московский регион, Тюменская и Свердловская области, Краснодарский край и Ростовская область, Новосибирская область.

Большинство внутренних мигрантов в 2010 г. переселялось между городскими населенными пунктами (835,1 тыс. чел., или 43,7 %), из сельской местности в города (518,5 тыс. чел., или 27,2 %), из городских поселений в сельские (377,3 тыс. чел., или 19,7 %) или между сельскими населенными пунктами (179,7 тыс. чел., или 9,4 %). Более детальная картина выбытия населения по типу населенных пунктов из федеральных округов представлена в табл. 1.

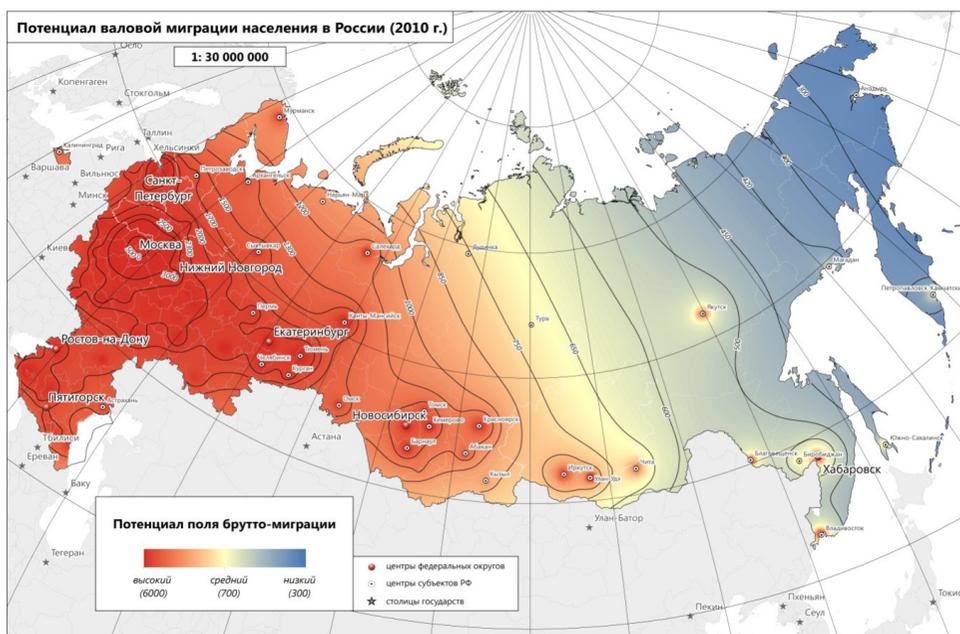


Рис. 5. Валовая межрегиональная миграция, 2010 г.

Таблица 1

Характер выбытия населения из федеральных округов по типу поселений, 2010 г., %

Территория выбытия	Город – город	Село – город	Город – село	Село – село
Центральный федеральный округ	58,2	18,1	14,7	9,0
Северо-Западный федеральный округ	53,3	23,2	18,6	4,9
Южный федеральный округ	34,3	30,0	21,2	14,6
Северо-Кавказский федеральный округ	23,3	32,1	21,9	22,7
Приволжский федеральный округ	33,0	33,6	23,0	10,3
Уральский федеральный округ	50,5	22,2	21,1	6,2
Сибирский федеральный округ	39,9	29,0	20,4	10,7
Дальневосточный федеральный округ	46,9	25,1	19,3	8,7

Для описания и анализа миграционных процессов, их последующей интерпретации и прогнозирования целесообразно использовать математико-статистические и математико-картографические модели миграции, критический анализ которых приведен ниже. При этом исключительно важным является учет пространственного аспекта, что требует привлечения географического, в том числе геоинформационного методов исследования.

### Модели миграций

Среди достаточно большого числа авторов, анализирующих миграционные модели, нами были выделены исследователи, наиболее комплексно подошедшие к данному анализу (табл. 2). Согласно подходу И. А. Алешковского, моделирование миграции населения следует проводить на микро- и

макроуровнях. Уровни различаются между собой предметом и целями исследования: на микроуровне рассматривается миграционное поведение отдельного индивида или семьи, на макроуровне основное внимание уделяется изучению закономерностей миграционного движения всего населения или крупных социально-демографических групп населения в рамках территориальной системы. Для целей нашего исследования наиболее логичным представляется использование макромоделей миграции. С их помощью можно проводить не только анализ миграционных процессов и определение основных детерминант миграции, что особенно актуально именно для межрегиональных миграционных потоков, но и осуществлять прогноз показателей миграционных процессов в различных сценариях.

Таблица 2

Подходы к классификации математико-статистических моделей миграции

И. Алешковский	А. Ягельский	А. Rogers
<p><b>I. Модели макроуровня</b></p> <p>1. Интеракционные модели</p> <p>1) <i>Гравитационные модели</i></p> <p>2) <i>Модели промежуточных взаимодействий</i></p> <p>3) <i>Модели, основанные на теории пространственного движения Алонсо</i></p> <p>2. Модели факторов миграции (модели притяжения – выталкивания)</p> <p>3. Моделирование миграционного движения с использованием цепей Маркова</p> <p><b>II. Модели микроуровня</b></p> <p>1. Диффузионные модели миграционного движения</p> <p>2. Микроэкономические модели миграции</p>	<p><b>I. Дистанционные модели миграции</b></p> <p>1. Модель Парето</p> <p>2. Гравитационная модель</p> <p><b>II. Модели миграционных потоков</b></p> <p>1. Модели транзакций</p> <p>2. Регрессионные модели</p> <p>3. Марковские модели</p> <p><b>III. Диффузионные модели миграции и модели принятия решений</b></p>	<p>1. Линейные регрессионные модели</p> <p>2. Гравитационные модели</p> <p>3. Марковские модели миграции</p> <p>4. Матричные модели миграции</p>

А. Ягельский, используя проблемный подход к классификации моделей миграции, выделил следующие группы моделей:

- модели, отражающие зависимость между масштабами или интенсивностью миграционных связей и расстоянием (модели Парето и гравитационные модели);
- модели, описывающие миграционные потоки;
- модели, описывающие поведение в пространстве индивидов и групп.

Американский исследователь А. Rogers проанализировал эволюцию основных моделей миграции. По его мнению, на смену гравитационным моделям приходят пространственные интеракционные модели, использование марковских моделей миграции заметно снижается, а регрессионные модели

существенно усложняются путем их трансформации в макро- и микроэконометрические модели, статистические модели выживания.

Анализ множества моделей миграции позволил выделить те, которые были исследованы детальнее на предмет возможности их использования для объяснения и прогнозирования межрегиональных миграционных потоков в России. *Гравитационные модели миграции* и их разновидности активно применяются для оценки и анализа территориальной мобильности населения. В основе моделей данного типа используется предположение о том, что интенсивность миграционного потока («демографическая» сила) определяется аналогично силе притяжения центров масс в законе всемирного тяготения Ньютона. В качестве масс в данном случае рассматриваются численности населения регионов.

Прообразом гравитационной модели миграции является модель Парето – детерминированная модель, отражающая гиперболическую зависимость между количеством миграций и расстоянием:  $M_{ij} = c D_{ij}^{-b}$ , где  $M_{ij}$  – количество миграционных взаимодействий,  $D_{ij}$  – расстояние,  $c$ ,  $b$  – константы. В виде логарифмической линейной регрессионной модели данное уравнение выглядит следующим образом

$$\lg M_{ij} = \lg c - b \lg D_{ij}.$$

Широко распространенная гравитационная модель миграции является частным случаем модели Парето, которая может быть представлена в следующем виде:

$$M_{ij} = \frac{P_i P_j}{D_{ij}^2} k,$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности,  $P_i$  –

численность населения региона выбытия;  $P_j$  – численность населения региона прибытия. В данном случае показателю  $b$  присвоено значение 2, что соответствует физической аналогии данной формулы (закон всемирного тяготения Ньютона). Однако зачастую показателю степени  $b$  придается произвольное значение.

Приведенное выше соотношение утверждает, что количество миграционных взаимодействий прямо пропорционально численности населения региона выбытия и региона прибытия и обратно пропорционально квадрату расстояния между регионами.

Достоинствами гравитационных моделей являются относительная простота их построения и доступность статистической информации практически для любого уровня анализа. Однако у моделей данного типа также существует ряд недостатков. Во-первых, условие симметричности миграционных потоков, практически никогда не наблюдаемое в реальности. Во-вторых, трудности, обусловленные учетом лишь трех факторов миграции – численностью населения регионов прибытия и выбытия и расстоянием между этими регионами.

Учеными из Колумбийского университета была предложена гравитационная модель, основывающаяся на географических «константах» и численности населения регионов, которая может быть достаточно точно спрог-

нозирована демографическими методами. Данная модель позволяет применять детерминированный и стохастический прогнозы миграции и численности населения.

В основе *модели факторов миграции* (регрессионной модели) лежит теория «притяжения – выталкивания», предложенная Эвереттом Ли в 1960-е гг. Ее смысл состоит в том, что существует ряд факторов, которые оказывают влияние на принятие решения о миграции и непосредственно на процесс миграции. Исследователи используют различные показатели, пытаясь объяснить закономерности миграционных потоков.

В практическом смысле данная теория реализуется в уравнении множественной регрессии. Именно с помощью регрессионного анализа возможно точно и наглядно проверить и оценить наличие зависимости между результирующим показателем (объясняемой переменной) и детерминирующими его факторами (объясняющие переменные).

В случае изучения зависимости внутренней миграции населения от различных факторов данное уравнение примет следующий вид:

$$M_{ij} = \alpha_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_{ni} + \gamma_1 x_{1j} + \dots + \gamma_m x_{mj} + \delta_1 d_{1ij} + \dots + \delta_k d_{kij} + \varepsilon_{ij}$$

в векторной форме:

$$M_{ij} = \alpha + \beta x_i + \gamma x_j + \delta d_{ij} + \varepsilon_{ij},$$

где  $M_{ij}$  – величина миграционного потока из региона  $i$  в регион  $j$ ,  $x_{1i} \dots x_{ni}$  – характеристики региона выбытия  $i$ ,  $x_{1j} \dots x_{mj}$  – характеристики региона прибытия  $j$ ,  $d_{1ij} \dots d_{kij}$  – факторы, связанные с процессом перемещения,  $\varepsilon_{ij}$  – ошибки регрессии (неучтенные факторы миграции),  $\alpha$ ,  $\beta_1 \dots \beta_n$ ,  $\gamma_1 \dots \gamma_m$ ,  $\delta_1 \dots \delta_k$  – коэффициенты (параметры модели), оцениваемые в ходе регрессионного анализа.

Одни из самых распространенных – экономические регрессионные модели. В них, кроме численности населения и расстояния между соответствующими регионами, параметрами, влияющими на интенсивность миграции, выступают различные показатели экономического развития регионов (уровень доходов, уровень безработицы, условия занятости).

Регрессионные модели миграции в настоящее время очень активно используются в экономических, социологических и географических исследованиях. Они предоставляют ряд преимуществ по сравнению со стандартными гравитационными моделями. При создании модели появляется не только возможность индивидуального выбора и введения необходимых факторов миграции непосредственно для каждого исследования, но и инструментов для оценки вклада соответствующих факторов в изменение вектора и интенсивности миграционных потоков. Однако существует также ряд недостатков, присущих моделям данного типа.

Отличительной характеристикой гравитационных моделей миграции и моделей факторов миграции является присутствие в результирующем уравнении пространственной составляющей. Переменная расстояния может быть представлена в физическом (топографическом), экономическом (в единицах стоимости и времени) или функциональном виде. Большинство

моделей оперирует физическим (географическим) расстоянием, измеряемым мерами длины. Например, для расчета расстояния между регионами используется следующая формула («воздушное расстояние»):

$$\text{Distance(km)} = 6372,795 * \arccos(\sin(\text{lat1}) * \sin(\text{lat2}) + \cos(\text{lat1}) * \cos(\text{lat2}) * \cos(\text{lon2} - \text{lon1})).$$

В методике Татевосов расстояние измеряется по протяженности железнодорожных путей (на основе расстояний по железной дороге между региональными центрами, а при отсутствии ж/д сообщений – по дальности авиаперелета от ближайшего регионального центра).

Существует также концепция функционального расстояния, предложенная А. Стоуфером: величина миграции изменяется вместе с числом «представляющихся возможностей», так называемых промежуточных возможностей, с которыми мигрант сталкивается вне своего места жительства. Г. Олссон измерял функциональное расстояние количеством районов, через которые проходит трасса миграции.

Наряду со статистическим анализом миграционных процессов, который зачастую преобладает во всех исследованиях, посвященных данному явлению, возможно также использовать картографический (инфографический) метод исследования. Демографические процессы, в том числе и миграция, имеют ярко выраженную пространственную составляющую. В сфере изучения демографических процессов картографический метод исследования является больше дополнением к статистическому анализу, более удобной и лаконичной формой представления статистической «табличной» информации. Но есть модели, которые строятся на основе подходов *математико-картографического и геоинформационного моделирования*.

## Выводы

Применение ГИС в геодемографических и любых других исследованиях подразумевает, во-первых, подготовку исходной статистической информации и создание базы тематических данных, во-вторых, разработку алгоритмов геоинформационного моделирования, сопряженное использование математических моделей и моделей пространственного анализа, в-третьих, визуализацию результатов моделирования или просто пространственно-статистической информации на основе базы данных.

Геоинформационные (математико-картографические) модели миграционных потоков могут быть построены по аналогии с моделями физико-географических процессов (водных потоков). В геоинформационном программном обеспечении возможно построение абстрактных статистических поверхностей миграции населения, на основе которых определяются направление и интенсивность аккумуляции миграционного «стока». Построенные с помощью этих инструментов карты способом линейных знаков отражают механическое движение населения и его объем на национальном уровне.

Второе направление связано с использованием статистических поверхностей и моделированием различных показателей миграционных про-

цессов. В данном случае основной задачей является переход от площадной характеристики к точечным, причем для корректного интерполирования показателей необходима равномерность расположения исходных точечных данных. При этом необходимо адекватно перенести статистическую информацию на новую пространственную локализацию.

Третье направление – это класс моделей, связанный с сетями. Различные показатели межрегионального миграционного обмена возможно представить в виде векторов, которые отражают само значение показателя, а также его направление. Приемами аналитической геометрии возможно проводить операции над данными векторами, получать новую, ранее недоступную в результате статистического анализа информацию о миграционном движении населения. В графическом виде проще всего векторы представлять в виде масштабных стрелок.

К последнему направлению можно отнести геовизуализацию информации о миграционных процессах на основе базы данных. Все многообразие показателей, которые можно получить с помощью статистического анализа, возможно представить в графическом виде. Безусловно, данные показатели должны иметь четкую пространственную локализацию. К приемам геоинформационного моделирования в данном случае можно отнести способы классификации. Существует несколько способов, каждый из которых направлен на выделение классов по определенным принципам – равные, геометрические и естественные интервалы, квантили, стандартное отклонение и др. Каждый из способов в их графическом представлении дает совершенно различные результаты, которые возможно по-разному интерпретировать. На основании изложенного нами была построена серия аналитических демографических карт, отражающих размещение населения по данным всероссийских переписей населения 2002 и 2010 гг. на уровне муниципальных образований, расчетные миграционные показатели на уровне субъектов РФ.

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 12-06-00310-а и 14-07-00920-а).*

## **Mathematical-Cartographic Modeling of Interregional Migrations in Russia**

S. A. Timonin, I. N. Tikunova, J. Strobl

**Abstract.** The paper is devoted to the detailed analysis of interregional migratory flows in Russia in 2000–2010 on the basis of the use of mathematic-cartographical models of migration. The investigation is aimed at application of mathematical and new GIS approaches for the development of forecasts of interregional migratory movements that is the extremely difficult task for both demographers and geographers. Results of modeling are included in the general forecasting models of size and structure of the population of Russian regions, and also will be used for management of migratory processes in Russia under conditions of general depopulation and reduction of its labor force. The detailed analysis of interregional migratory streams in Russia for 2000–2010 is carried out. For description and analysis of migratory processes, their subsequent interpretation and fore-

casting mathematic-statistical and mathematic-cartographical models of migration were used. Thus, accounting of spatial aspect turned out to be extremely important that demanded attraction of geographical, including geoinformation research methods. The new mathematical models necessary for description and forecast of migration which will be described below are developed. A series of maps reflecting migratory movements in 2000–2010, as well as the maps of dynamics is prepared.

**Keywords:** migration, mathematic-cartographical modeling, regions of Russia.

*Тимонин Сергей Андреевич*  
кандидат географических наук,  
научный сотрудник  
Московский государственный  
университет им. М. В. Ломоносова  
119991 Москва, Ленинские горы, 1  
тел.: (495) 939–23–54

*Timonin Sergey Andreevich*  
Candidate of Sciences (Geography),  
Research Scientist  
M. V. Lomonosov Moscow State University  
1 Leninskie Gory, Moscow, 119991  
tel.: (495) 939–23–54

*Тикунова Ирина Николаевна*  
кандидат географических наук,  
научный сотрудник  
Московский государственный университет  
им. М. В. Ломоносова  
119991 Москва, Ленинские горы, 1  
тел.: (495) 939–31–36

*Tikunova Irina Nikolaevna*  
Candidate of Sciences (Geography),  
Research Scientist  
M. V. Lomonosov Moscow State University  
1 Leninskie Gory, Moscow, 119991  
tel.: (495) 939–23–54

*Штробл Йозеф*  
Ph. D., профессор, академик Академии наук  
Австрии, директор ГИС-центра  
Зальбургский университет  
5020, Австрия, Зальцбург, Капителгасси, 4  
тел.: +43(0) 662–8044–0

*Strobl Josef*  
Ph. D., Professor, Academician  
of Austrian Academy of Sciences,  
Director of GIS Center  
Salzburg University  
4, Kapitelgasse, Salzburg, Austria, 5020  
tel.: +43(0) 662–8044–0