

УДК 911.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФУЗИИ ИННОВАЦИЙ И ТИПОЛОГИЯ РЕГИОНОВ РОССИИ НА ПРИМЕРЕ СОТОВОЙ СВЯЗИ

© 2017 г. Степан П. Земцов^{1,2}, Вячеслав Л. Бабурин²

¹Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Москва, Россия

²Географический факультет, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия
e-mail: spzemtsov@gmail.com, vbaburin@yandex.ru

Поступила в редакцию 20.02.2016 г.

Аннотация. Статья посвящена моделированию процессов пространственного распространения нового продукта на примере сотовой связи. В работе дан обзор основных моделей диффузии инноваций. В зависимости от механизма передачи сведений о новом продукте в сообществе выделяются две группы потребителей: новаторы и имитаторы. Показано, что первый этап пространственной диффузии характеризуется локализацией процессов в регионах с высокой долей новаторов, в частности с крупными агломерациями, на более поздних этапах преобладают имитационные механизмы. Анализ данных о проникновении сотовой связи в России в 2000-е годы подтверждает основные теоретические закономерности. В работе описана методика моделирования указанных процессов, основанная на оценке параметров модифицированной модели Басса. Разработаны критерии выбора параметров модели на примере регионов России. Выявлены типы регионов по соотношению новаторов и имитаторов в региональных сообществах. Большинство новаторов сосредоточены в крупнейших агломерациях страны, в столичных регионах находится более 50% первичных пользователей сотовой связью в 1999 г. Высокой инновативностью также обладают приморские и приграничные регионы (около 7% пользователей). К отстающим, с незначительным числом новаторов относятся преимущественно наименее развитые регионы с аграрной специализацией и высокими коммуникационными барьерами. Предложенная методика может применяться для исследования и прогнозирования процессов распространения иных инноваций, а разработанная типология может быть полезна для оценки мер региональной политики по внедрению новых технологий, законодательных норм и т.п.

Ключевые слова: диффузия инноваций, сотовая связь, регионы России, модель Басса, новаторы, имитаторы, логистическая кривая, типология регионов.

DOI: 10.7868/S0373244417100024

Modeling of Diffusion of Innovation and Typology of Russian Regions: a Case Study of Cellular Communication

Stepan P. Zemtsov^{1,2} and Vyacheslav L. Baburin¹

¹Moscow State University, Moscow, Russia

²Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia
e-mail: vbaburin@yandex.ru, spzemtsov@gmail.com

Abstract. The article is devoted to modeling of spatial distribution of new product on the case of cellular communication. The paper provides an overview of the main models of diffusion of innovation. Depending on the mechanism of transfer of information about a new product, two consumer groups are allocated in the community: innovators and imitators. It is shown that the first stage of the spatial diffusion is characterized by the localization process in regions with a high proportion of innovators, in particular in large agglomerations; on the later stages imitation mechanisms predominate. Analysis of data on the penetration of cellular communication in Russia in the 2000s confirms the main theoretical conclusions. The paper describes a method of modeling, based on an evaluation of the parameters of the modified Bass model. The criteria of

selection of the model parameters on the example of Russian regions were developed. With the technique, types of regions were identified according to ratio of innovators and imitators in regional communities. Most of innovators are concentrated in the largest metropolitan areas of the country; Moscow, Saint Petersburg and its nearby regions holds more than 50% of primary mobile phone users in 1999. Coastal and border regions (about 7% of primary users) are also highly innovative. Lagging regions have a small number of innovators and they are mainly the least developed regions with agricultural specialization and high communication barriers. The proposed method can be used to study and predict the processes of the spread of other innovations, and developed typology can be useful for the assessment of regional policy on the introduction of new technologies, legislation, etc.

Keywords: diffusion of innovations, cellular communication, Russian regions, the Bass model, innovators, imitators, logistic curve, regional typology.

Введение. Диффузия инноваций – это процесс, посредством которого нововведение передается по коммуникационным каналам между членами социальной системы [18, с. 5]. Нововведениями могут быть новые для общества идеи, технологии, продукты и т.п. Классические исследования диффузии появились в 1960-е годы, когда выходит ряд знаковых статей в руральной социологии [18], экономике [12, 15], маркетинге [16] и географии [13]¹. Изучение процессов освоения новых продуктов в последние годы снова актуализировалось в связи с развитием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) [2, 4–8].

Распространение новых технологий и продуктов стало важным фактором социально-экономического развития стран и регионов. Но различия в уровне их освоения между странами в пять раз выше, чем в объемах валового внутреннего продукта на душу населения [11]. При этом пространственные структуры диффузии различных технологий схожи: страны-лидеры первыми внедряли телевидение, затем первыми освоили технологии мобильной связи, затем – интернета [11]. Странам догоняющего развития необходимо ускорять процессы внедрения новых технологий. Для пространственно неоднородных стран, таких как Россия, выявленные закономерности могут проявляться на региональном уровне: одни регионы постоянно заимствуют новые технологии и развиваются ускоренными темпами (регионы-новаторы), в то время как в других (периферийных) преобладает консервативная модель развития [2]. Изучение процессов пространственной диффузии одной технологии позволит спрогнозировать

особенности распространения других технологий, а также послужит целям прогнозирования социально-экономического развития.

Цель работы – смоделировать процесс диффузии в российских регионах и на основе различий в параметрах построенных моделей выявить типы регионов по их способности осваивать новые технологии.

В первой части статьи дан обзор теоретических подходов к изучению и моделированию процессов диффузии. Во второй части приведен анализ данных о пространственном распространении сотовой связи в России в 2000-е годы. Затем описана методика моделирования анализируемых процессов для каждого региона России и проведена процедура ее верификации. В последней части с помощью описанной методики разработана типология регионов по соотношению новаторов и имитаторов. Предложенная типология может использоваться в целях региональной политики при определении центров внедрения новых технологий, норм и т.д.

Ранее модели диффузии практически не применялись для типологии регионов. Подобное моделирование для регионов России проведено впервые.

Теоретические основы моделирования диффузии инноваций. Одной из движущих сил распространения нового продукта в региональных сообществах служит межличностное общение [18]. Каждый новый потребитель становится источником информации для следующего. Чем больше потребителей возникает, тем больше информации они несут, тем выше вероятность приобретения нового продукта. Процесс сменяется противоположной тенденцией по мере снижения числа неосведомленных потребителей. В этом случае график принятия нововведений сообществом напоминает стандартную колоколообразную кривую нормального распределения [18]. В соответствии со скоростью распространения нового

¹ По подсчетам Э. Роджерса [18], к 1980 г. 20% всех публикаций были связаны с руральной социологией, 16% – с маркетингом и менеджментом, 15% – со сферой коммуникаций, 10% – с медицинской социологией. Доля географических работ автором оценивалась в 4%. По подсчетам Н. Мида [16] к 2000 г. уже 44% всех работ были связаны с маркетингом и менеджментом, а к географическим относилось около 9%.

Таблица 1. Параметры некоторых моделей диффузии инноваций

Модель (год)	Формула ($dF/dt =$)	Точка перегиба (F^*)	Симметрия
Логистическая	$qF(1 - F)$	0.5	+
Гомперца (Gompertz) (1980)	$qF \ln(1/F)$	0.37	-
Басса (Bass) (1969)	$(p + qF)(1 - F)$	0.0–0.5	+
Флойда (Floyd) (1962)	$qF(1 - F)^2$	0.33	-
Шарифа–Кабира (Sharif, Kabir) (1976)	$qF(1 - F)^2/(1 - F(1 - e))$	0.33–0.5	+/-
Джейланда (Jeuland) (1980)	$(p + qF)(1 - F)^{(1 + E)}$	0.0–0.5	+/-
Смешанного неунифицированного влияния (1983)	$(p + qF^E)(1 - F)$	0.0–1.0	+/-
Несимметричная логистическая (NSRL) (1981)	$qF^E(1 - F)$	0.0–1.0	+/-
Фон Берталанффи (Von Bertalanffy) (1957)	$(q/(1 - Q))(1 - F^{1 - Q})$	0.0–1.0	+/-

Источник: [14].

Примечание: 0 ≤ e ≤ 1; (2) 0 ≤ E; 0 ≤ Q.

продукта Э. Роджерс выделил группы потребителей: новаторы – первые 2.5% членов сообщества, ранние последователи – 13.5%, раннее большинство – 34%, позднее большинство – 34%, отстающие – 16% [Там же].

На основе описанного распределения разработано множество моделей (табл. 1). Фундаментальную модель диффузии можно выразить в виде [14]:

$$\frac{dF(t)}{dt} = g(t) \times [\bar{F} - F(t)], \quad (1)$$

где $F(t)$ – кумулятивное число тех, кто освоил новую технологию или продукт в момент времени t , $dF(t)/dt$ – уровень проникновения, $g(t)$ – коэффициент диффузии, \bar{F} – максимальное потенциальное число потребителей; при $F = (t = t_0) = F_0$, F_0 – число потребителей технологии в момент t_0 . Уровень проникновения новой технологии зависит от разницы между числом тех, кто уже ее освоил, и числом оставшихся потенциальных потребителей. Коэффициент $g(t)$ можно интерпретировать как вероятность потребления нововведения в момент времени t , часто описывается как механизм передачи информации о новых технологиях и продуктах между членами сообщества. Модели разных авторов отличаются тем, как определяется этот коэффициент (см. табл. 1). Есть три основных варианта интерпретации $g(t)$.

1. Модель внешнего влияния $g(t) = qF(t)$, в которой диффузия происходит только под действием внешних “агентов”, например, средств массовой информации (СМИ), рекламы и никак не связана с внутренними взаимодействиями внутри социальной системы. Не применима для описания процессов распространения сотовой связи и других интерактивных технологий, когда важны

коммуникации между членами сообщества. Кривая диффузии напоминает экспоненциальный рост с постоянно уменьшающимся приростом и может рассматриваться как часть логистической кривой после точки перегиба. Примером служит распространение новых лекарств по госпиталям в США, забастовки рабочих [14].

2. Модель внутреннего влияния $g(t) = qF(t)$, когда диффузия зависит исключительно от передачи информации между членами сообщества, т.е. все постоянно заимствуют (имитируют) практики друг друга. Примерами служат распространение дизельных локомотивов между фирмами [15] и гибридных семян среди фермеров [12]. Такого рода процессы характерны для небольших относительно гомогенных сообществ, когда сама технология приводит к повышению их конкурентоспособности. Поэтому модель не применима для описания процессов в разнородных сообществах регионов.

3. Модель смешанного влияния $g(t) = p + qF(t)$, при которой новый продукт распространяется по обоим схемам. Активно используется в маркетинговых исследованиях, так как позволяет учесть эффект рекламных акций и эффект передачи информации на основе личного опыта владельцев нового продукта. Наиболее применима для региональных исследований [2].

К последнему типу относится широко распространенная модель Ф. Басса [9]. В отличие от Э. Роджерса он рассматривает сообщество не в виде отдельных заранее определенных групп с разной способностью к восприятию нововведений, а стремится выявить его инновационную и имитационную способности в соответствии

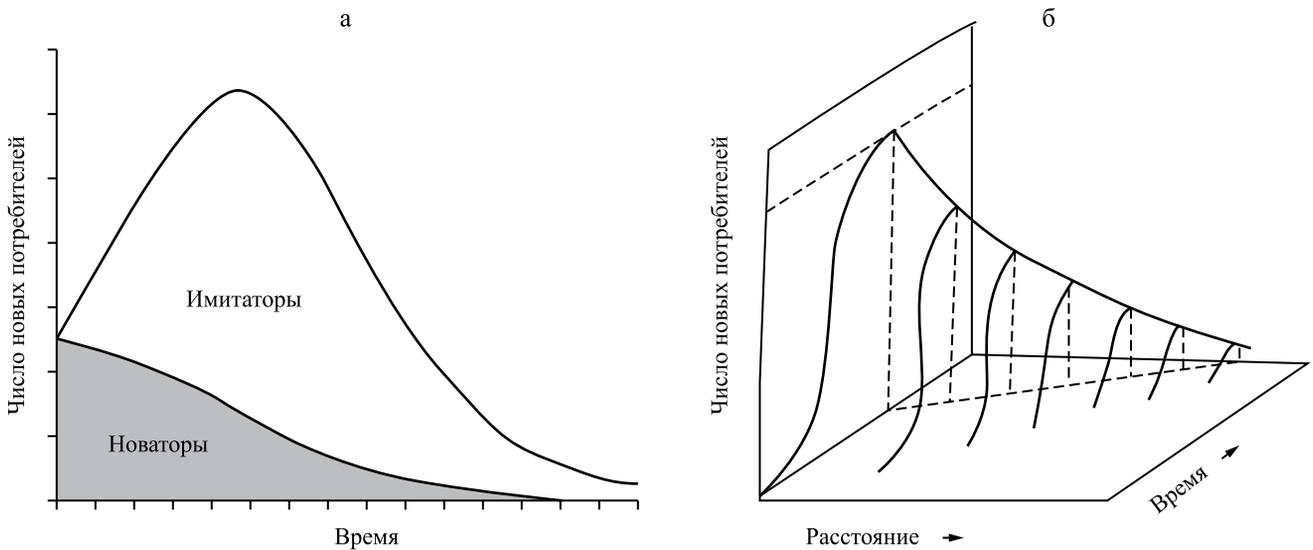


Рис. 1. а) соотношение новаторов и имитаторов согласно модели диффузии инноваций Ф. Басса. *Источник:* [9]; б) зависимость числа потребителей инновации от времени и расстояния от центра диффузии по модели В. Махаяна и Р. Петерсона.

Источник: [13].

с механизмами передачи информации о новых продуктах, преобладающими в сообществе:

$$P(t) = p + \frac{q}{F(t)}, \quad (2)$$

где $P(t)$ – вероятность потребления нововведения в момент времени t , p – коэффициент первичного восприятия инновации, часто именуемый “эффектом рекламы”, предполагающий, что потребители-новаторы узнают о новой продукции из СМИ, рекламы, либо случайно, q – коэффициент имитации, выражающий эффект “из уст в уста”, показывающий долю потребителей-имитаторов, узнавших о новом продукте от других потребителей, $F(t)$ – доля состоявшихся потребителей к моменту времени t .

Рассчитав производную, получаем функцию, которая описывает вероятность появления нового потребителя во времени (рис. 1а):

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \left[p + \frac{q}{F} \times F(t) \right] \times [\bar{F} - F(t)], \quad (3)$$

где $f(t)$ – число новых потребителей в момент t , $F(t)$ – число приобретших инновацию к моменту t , \bar{F} – максимальное потенциальное число потребителей (емкость сообщества, или максимальный уровень насыщения).

Коэффициенты p и q позволяют выявить соотношение новаторов и имитаторов в сообществе (см. рис. 1а). Коэффициент p соответствует доле новаторов в первый момент времени, затем эта доля снижается. Доля имитаторов зависит от потенциальной емкости сообщества. Соотношение новаторов

и имитаторов (p/q) положительно связано с индивидуализмом, отрицательно – с иерархичностью, наличием классов и коэффициентом Джини [20].

Для начала широкомасштабной диффузии нового продукта требуется критическая масса потребителей [16]. Новаторы – рискованны и образованны, активны в поиске информации, нечувствительны к цене продукта [18]. Но новый продукт осваивается в тот момент, когда его цена перестает быть барьером для большинства потребителей [19]. Поэтому форма кривой диффузии также напоминает логнормальное распределение доходов.

Для России особое значение имеет понимание пространственных аспектов процесса [10, 13, 17]. Выделяются два основных типа пространственной диффузии²: иерархическая в соответствии с иерархией городов и площадная в соответствии с эффектом соседства [13]. Во втором случае важна близость источника инноваций и преобладают имитационные эффекты, а в первом – важнее доля новаторов, которая выше в крупных городах и снижается по мере уменьшения размера и числа функций города.

В модели Т. Хегерстранда [13] на первом этапе пространственной диффузии, когда преобладает модель внешнего влияния, наблюдается резкий контраст между центром и периферией: число акцепторов (потребителей) в регионах-центрах диффузии (с крупнейшими агломерациями,

² В современных работах также выделяются волновая (фронт) и сетевая [3].

где сосредоточены новаторы) достигает 70%, на полупериферии – 20% и около 10% – на периферии. Второй этап представляет собой процесс быстрого расширения, что приводит к образованию новых и быстро развивающихся ядер, число новаторов и имитаторов выравнивается. На третьем этапе (накопления) происходит расширение во всем пространстве, преобладают имитационные эффекты. На последнем этапе (насыщения) происходит общий, но медленный асимптотический подъем к максимальной потенциальной емкости региональных сообществ (\bar{F}).

Для разных регионов график диффузии будет различаться временем ее начала, формой кривой

(скоростью распространения) и потенциальным максимумом в зависимости от удаленности от центра распространения инновации (см. рис. 16) [10, 13, 14, 17]. Огибающая кривая на рис. 16 может быть смоделирована преобразованием уравнения (3) с учетом, что $q / \bar{F} = b$, а $F = f(x, t)$, где F – число потребителей, x – расстояние до центра, t – время [14], тогда:

$$\frac{\partial F(x,t)}{\partial t} = (p(x) + b(x)F(x,t))[\bar{F}(x) - F(x,t)]. \quad (4)$$

Решением дифференциального уравнения будет следующее выражение:

$$F(x,t) = \frac{\left(\frac{\bar{F}(x) - p(x)(\bar{F}(x) - F_0(x))}{p(x) + b(x)F_0(x)} \right) \times \exp \left\{ -(p(x) + b(x)\bar{F}(x)) \times (t - t_0) \right\}}{1 + \frac{b(x)(\bar{F}(x) - F_0(x))}{p(x) + b(x)F_0(x)} \times \exp \left\{ -(p(x) + b(x)\bar{F}(x)) \times (t - t_0) \right\}}. \quad (5)$$

Межрегиональная скорость распространения нововведений зависит от трех групп факторов [2, 4, 8–21]:

- *развитие каналов коммуникаций и иные характеристики региона-акцептора, способствующие проникновению нововведений*: близость к центрам диффузии, инфраструктурная обеспеченность, развитие институтов (среды) взаимодействия и т.д.;

- *характеристики регионального сообщества, определяющие долю новаторов и их взаимодействие с остальным сообществом*: уровень образования, доходы, доля городских жителей, структура занятости, плотность населения, социальная стратификация сообщества и т.д.;

- *характеристики самой технологии*: наличие конкурирующих технологий и продуктов, стоимость в сравнении с альтернативами, доступность, понятность и простота в использовании, низкие издержки на обучение³, уровень конкуренции в отрасли и т.д.

³ Знаменитый пример социальной блокировки: использование в латинице клавиатуры QWERTY, которая была создана для замедления работы машинисток на печатных машинках для повышения надежности оборудования. На самом деле эта клавиатура существенно более времязатратная, чем разработанный позднее вариант – DVORAK. Но производители и потребители до сих пор не готовы, чтобы использовать полезную и важную инновацию.

Выявление пространственных закономерностей распространения сотовой связи в России. Для измерения способности регионов потреблять инновации был использован официальный показатель Федеральной службы государственной статистики России – число зарегистрированных абонентских терминалов сотовой связи, или число действующих SIM-карт, на 100 жителей региона. Индикатор является относительно достоверным, так как собирается по фактическим данным о числе абонентов. Большинство регионов России достигли высокого уровня насыщения, что дает возможность применения моделей, основанных на построении логистических кривых.

Условно можно говорить о достижении предела насыщения при 100% обеспеченности населения сотовыми телефонами (100 абонентских терминалов на 100 жителей региона). Но в реальности каждый человек может владеть отдельными телефонами для рабочих и личных целей, а с расширением способностей передачи данных во второй половине 2000-х годов мобильные сети все чаще используются для выхода в сеть интернет через модемы, планшеты и прочие устройства.

В конце 1990-х годов процесс проникновения сотовой связи находился на начальной фазе согласно модели Т. Хегерстранда. По доле абонентов выделялись крупнейшие агломерации: Санкт-Петербург и Москва в соответствии с иерархическим характером диффузии [2, 4]. Санкт-Петербург благодаря близости к одному из глобальных центров

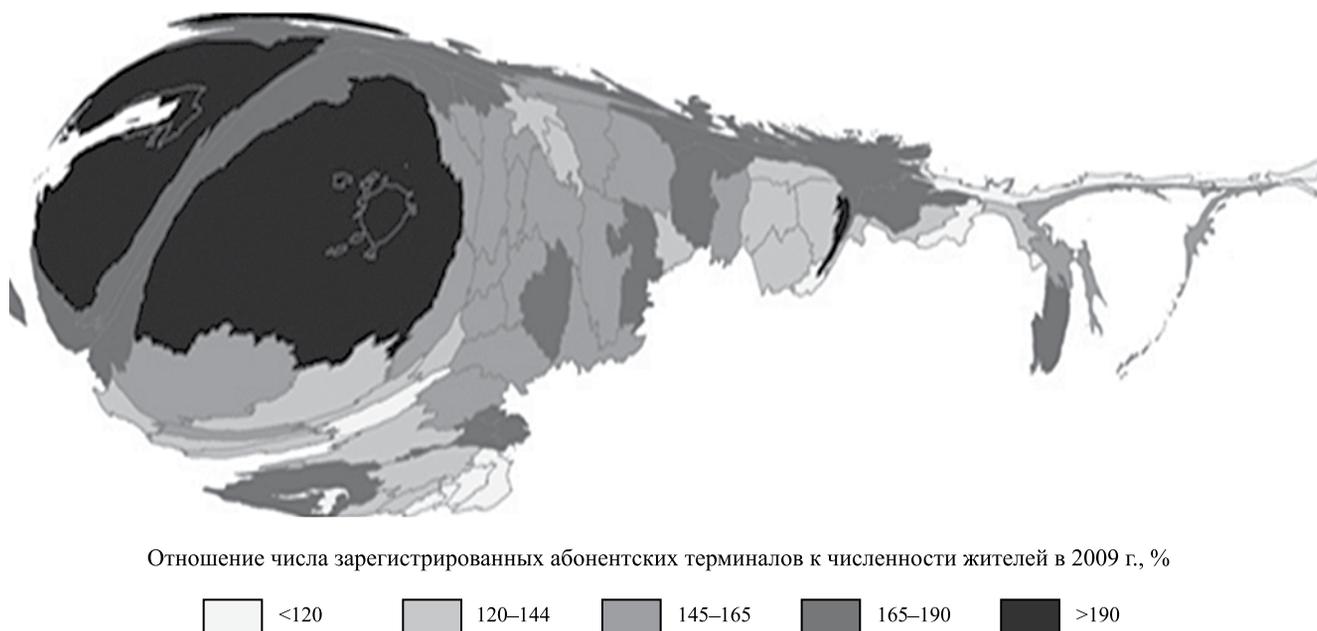


Рис. 2. Карта-анаморфоза проникновения сотовой связи в регионах России в 2009 г. (размер каждого региона соответствует числу абонентов сотовой связи).

распространения новой технологии (Финляндии) лидировал, но Москва как столица и первая в иерархии городов быстро перехватила лидерство. В 2003 г. процесс охватил большее число регионов, но концентрировался в первую очередь в крупнейших агломерациях (Самара, Новосибирск) и приморских регионах, которые были ближе к зарубежным центрам диффузии и в которых происходило более активное международное взаимодействие (Ленинградская, Калининградская и Мурманская области, Краснодарский и Приморский края). В 2006 г. диффузия охватила богатые регионы Сибири (Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий АО) и Поволжье (Татарстан, Нижегородская область), большинство регионов достигли условного 100% насыщения. К 2009 г. лишь в нескольких периферийных регионах Северного Кавказа, Южной Сибири и Дальнего Востока уровень проникновения был меньше 120% (рис. 2). Современная конфигурация карты-анаморфозы напрямую связана с численностью городского населения регионов, так как именно в городах имеется соответствующая инфраструктура и сосредоточены основные потребители новых мобильных технологий (4G, Wi-Max и т.д.). Наибольшие значения по уровню проникновения характерны для столичных регионов, Мурманской области и ряда других северных регионов. Высокая насыщенность сотовой связью последних объясняется большими расстояниями между поселениями, их удаленностью

от родины мигрантов, а соответственно, необходимостью интенсивного использования телекоммуникаций; сотовые сети здесь также активно используются для выхода в Интернет из-за слабого развития иных источников.

Монотонно убывающая “кривая затухания” диффузии в зависимости от удаленности от центров (крупных агломераций) может быть построена лишь для выборочных регионов (рис. 3) из-за высокой неоднородности темпов роста за рассматриваемый период в срединных регионах. Кроме того, классическая модель предполагала, что центр создания инновации совпадает с центром диффузии и находится внутри социальной системы. Сотовая связь распространялась в России из-за рубежа, поэтому значима была не только иерархическая диффузия внутри страны, но и диффузия соседства с развитыми странами, поэтому приморские и приграничные регионы развивались быстрее.

Впрочем, большинство регионов России согласно предварительному анализу данных могут быть описаны с помощью модели, основанной на построении логистических кривых.

Методика моделирования диффузии сотовой связи и ее верификация. Каждый регион будет рассматриваться как отдельное сообщество. Преобразуем модель Басса (формула 3) в недифференциальный вид [14]:

$$F(t+1)_i - F(t)_i = p_i \bar{F}_i + (q_i \bar{F}_i - p_i) \times F(t)_i - q_i F(t)_i^2 = A_1 + A_2 \times F(t)_i + A_3 \times F(t)_i^2 + \varepsilon(t), \quad (6)$$

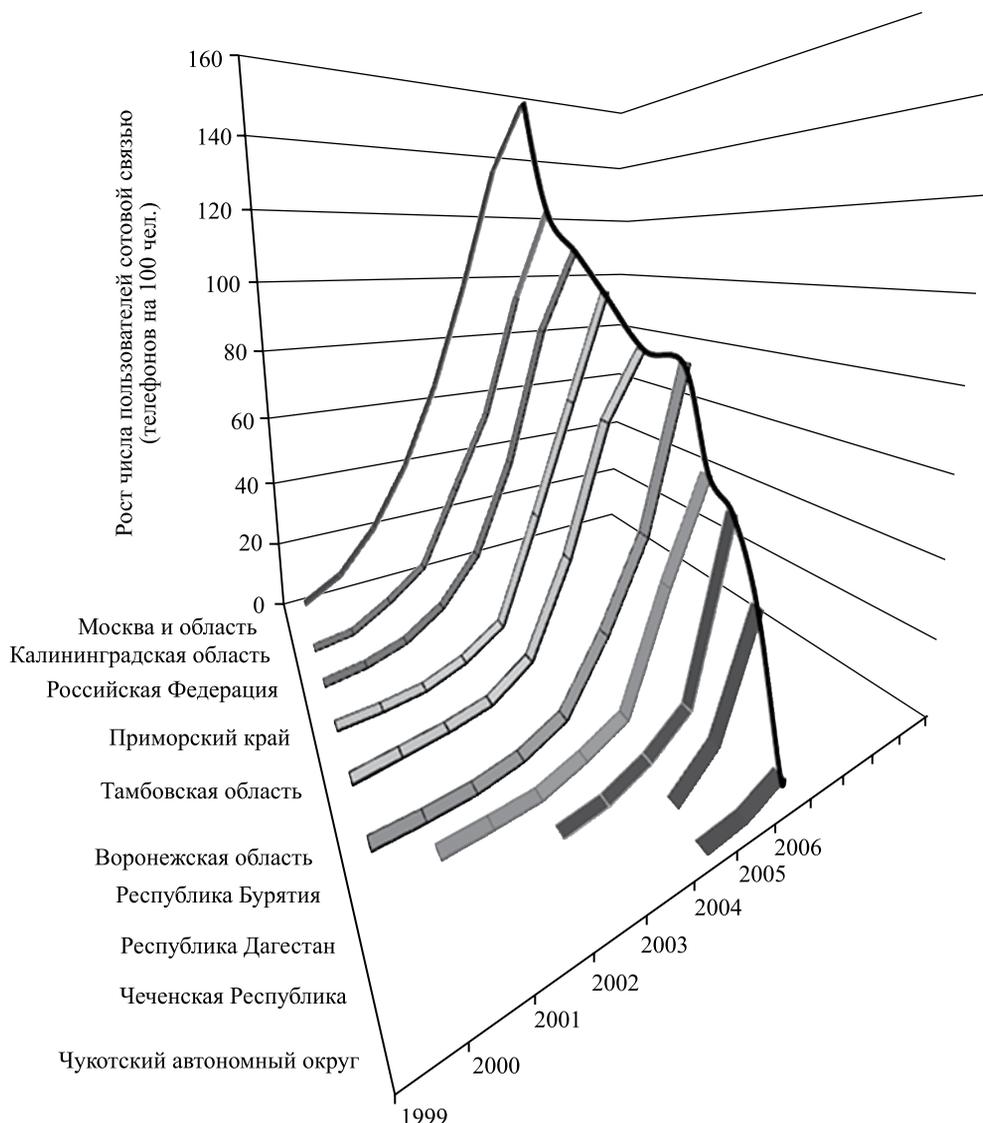


Рис. 3. Распространение сотовой связи в регионах России в зависимости от удаленности от центра диффузии (Москвы).

где $F(t+1) - F(t)$ – прирост числа жителей, освоивших инновацию за год, $\epsilon(e)$ – остаток. Уравнение применяется для нахождения параметров модели (p, q, \bar{F}) через коэффициенты квадратного уравнения: $p = A_1/\bar{F}$, $q = -A_3$, $\bar{F} = (-A_2 \pm \sqrt{A_2^2 - 4A_1A_3}) / 2A_3$.

Имеется ряд важных предпосылок и ограничений для применения предложенного метода (табл. 2), так как он в значительной степени зависит от качества данных.

На рис. 4а представлен пример моделирования (формула 6) числа пользователей сотовой связью на данных по России в целом и по Санкт-Петербургу. Модель, описывающая параболу, может быть использована для анализа процесса до

2006 г., когда началась вторая волна диффузии, связанная с использованием мобильных сетей для передачи данных в сети Интернет. После 2009 г. прирост во многих регионах оказался отрицательным или близким к нулю. Впрочем, модель не идеально описывает процесс в ряде “отстающих” регионов (см. рис. 4б).

Оценки параметров модели для целей верификации проводились для нескольких условий, которые сравниваются в табл. 3. На рис. 5 представлены результаты моделирования для трех спецификаций (разновидностей) на примере среднего региона – Тамбовской области. Применение спецификации 2 со стационарным пределом обосновано в ряде работ необходимостью использования внешней оценки потенциальной емкости

Таблица 2. Предпосылки применения модифицированной модели Ф. Басса и существующие ограничения на примере распространения сотовой связи в России

Предпосылка	Характеристика	Ограничение
Диффузия начинается примерно в одно время	Критично для оценки числа новаторов	В регионах начало диффузии разновременно
Диффузия достигает примерно одного значения	Критично для применения модели	Уровень насыщения во всех регионах разный
Один продукт потребляется один раз	Критично для применения модели. Служит предпосылкой модели	Продукт может быть отвергнут, а затем снова использован
Один продукт	Критично для применения модели. Служит предпосылкой модели	Несколько продуктов: сотовый телефон, смартфон, модем и т.д.
Логистическая кривая	Критично для применения модели. Служит предпосылкой модели	Не для всех регионов характерен данный вид кривой
Бинарность процесса выбора продукта потребителем (либо принять, либо не принять)	Потребитель либо принимает, либо не принимает инновацию. Ограничение на появление циклов и стадий	Часто потребитель может отказаться от услуги или продукта позднее, потребить два продукта и т.д.
Продукт должен быть “заимствуемым”, а не потребительским	Должен наблюдаться очевидный верхний уровень насыщения	Может и не существовать
Продукт “независим” от других продуктов на рынке	Критично для применения модели. Служит предпосылкой модели	Всегда существуют конкурирующие продукты

Обобщено по: [14, 16, 18, 21].

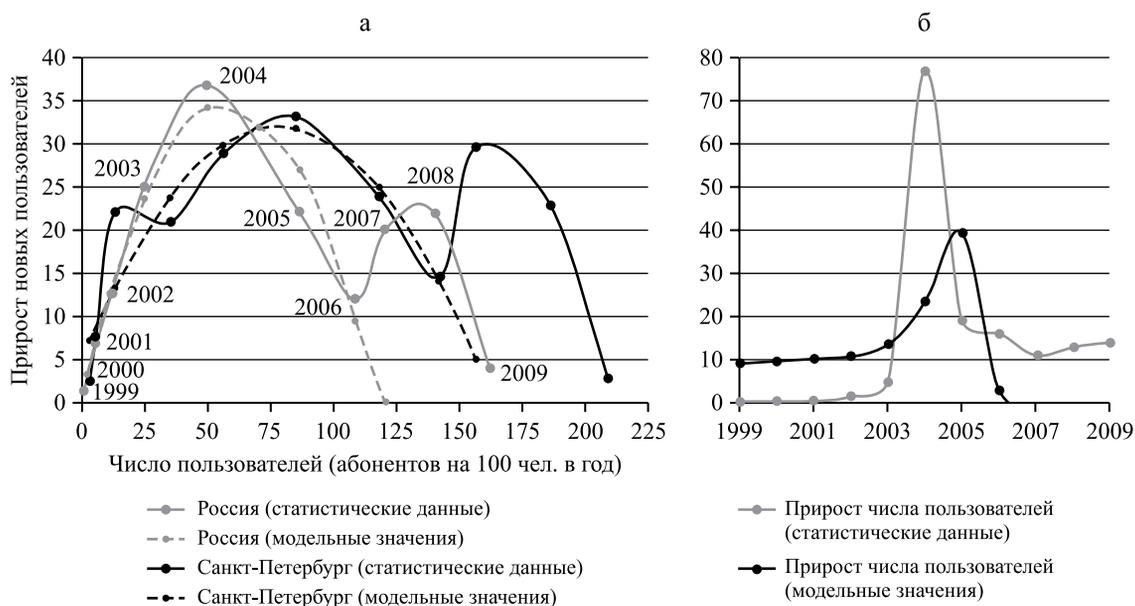
**Рис. 4.** Моделирование прироста числа пользователей сотовой связью с 1999 по 2009 г.: а) в России в целом и в Санкт-Петербурге; б) в Амурской области.

Таблица 3. Спецификации модели в зависимости от уровня насыщения и анализируемого периода

Спецификация	Уровень насыщения \bar{F}	Период расчета	Качество модели (R^2)
1	Динамичный в зависимости от расчета параметров модели	1999–2005 (первая волна диффузии)	0.7 (для выборки регионов)
2	Стационарный: 100 SIM-карт на 100 жителей для всех регионов	1999–2005 (первая волна диффузии)	0.94
3	Динамичный в зависимости от расчета параметров модели	1999–2009 (регионы достигли 100% уровня насыщения)	0.52

[14, 16]. При моделировании процесса до 2005 г. условным уровнем насыщения можно считать 100 абонентских устройств на 100 жителей. Коэффициент аппроксимации R^2 линейной зависимости между реальным и модельным значениями прироста числа пользователей служит индикатором качества подгонки модели. Для спецификации 2 он равен 0.94⁴. Но в реальности регионы значительно различаются как по уровню насыщения, так и по времени его наступления, поэтому модель была отвергнута.

В спецификации 3 уровень емкости для каждого региона определялся с помощью уравнения модели: фактически это пересечение кривой модели с осью абсцисс (например, для России – это 125 абонентских терминалов на 100 жителей на рис. 4а). Расчет проводился до 2009 г., когда большинство регионов достигли насыщения в 100 абонентских устройств на 100 жителей. R^2 модели составил 0.52, что служит подтверждением невозможности использования модифицированной модели Басса для моделирования процессов с двумя волнами диффузии⁵.

Спецификация 1 с динамичным пределом до 2006 г. выбрана в качестве базовой для расчетов с приемлемым значением аппроксимации (0.66). Полученные нами результаты расчетов по спецификации 1 для целей дополнительной верификации сравнивались с полученными оценками

в соответствии с классической интерпретацией модели Басса⁶:

$$F_t = F_{t-1} + p \times (\bar{F} - F_{t-1}) + q \times \frac{F_{t-1}}{\bar{F}} (\bar{F} - F_{t-1}), \quad (7)$$

где F_t – абсолютное число пользователей сотовой связью в этом году, а F_{t-1} – число пользователей в прошлом году. Для расчета p использовалось отношение числа пользователей сотовой связью в 1999 г. (условно первый год широкой диффузии) к максимальному числу пользователей \bar{F} , рассчитанному по предыдущей методике. Но расчет q по формуле 7 возможен лишь в том случае, если некумулятивная кривая диффузии (кривая прироста) совпадает или близка к кривой нормального распределения и задан максимальный уровень насыщения. В случае распространения сотовой связи наблюдаются значительные отклонения от этих предпосылок, связанные с появлением второй волны распространения. Поэтому для каждого года по формуле 7 получены разные значения q .

В зависимости от выбора способа расчета \bar{F} и q составлено девять спецификаций модели (табл. 4). Уровень насыщения определялся с помощью рассчитанного в рамках предложенной авторами модели по формуле 6 (\bar{F}_1); по максимально наблюдаемому насыщению в каждом регионе (\bar{F}_2) до 2012 г.; по произведению населения региона и коэффициента 1.5 как среднего уровня насыщения к 2011 г. (\bar{F}_3). Коэффициент имитации определялся по значению (q_1)

⁴ Оценка качества модели по коэффициенту аппроксимации не безупречна, так как не проводилась в силу большого числа рассматриваемых объектов оценка гетероскедастичности данных, т.е. изменения дисперсии наблюдений.

⁵ Дополнительно оценка проводилась до 2012 г. с использованием в качестве параметра емкости максимально известного значения насыщения – 2.3 телефона на человека, но результат показал более низкий уровень аппроксимации ($R^2 = 0.53$).

⁶ Ссылка на активную таблицу для расчетов модели Басса: https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwidxMXOi ofOAhXHDPoKHUXyAGUQFggBMAA&url=http%3A%2F%2Ffaculty.washington.edu%2Fsundar%2FNPM%2FBASS-Forecasting%2520Model%2FBASS-Simulation-Sundar.xls&u sg=AFQjCNHtPXHKALMOujhgVVORn_uXu17Ew&sig2=lyVe9X7iObxQwSs3PH4hCw&bvm= bv.127521224, d.bGs.

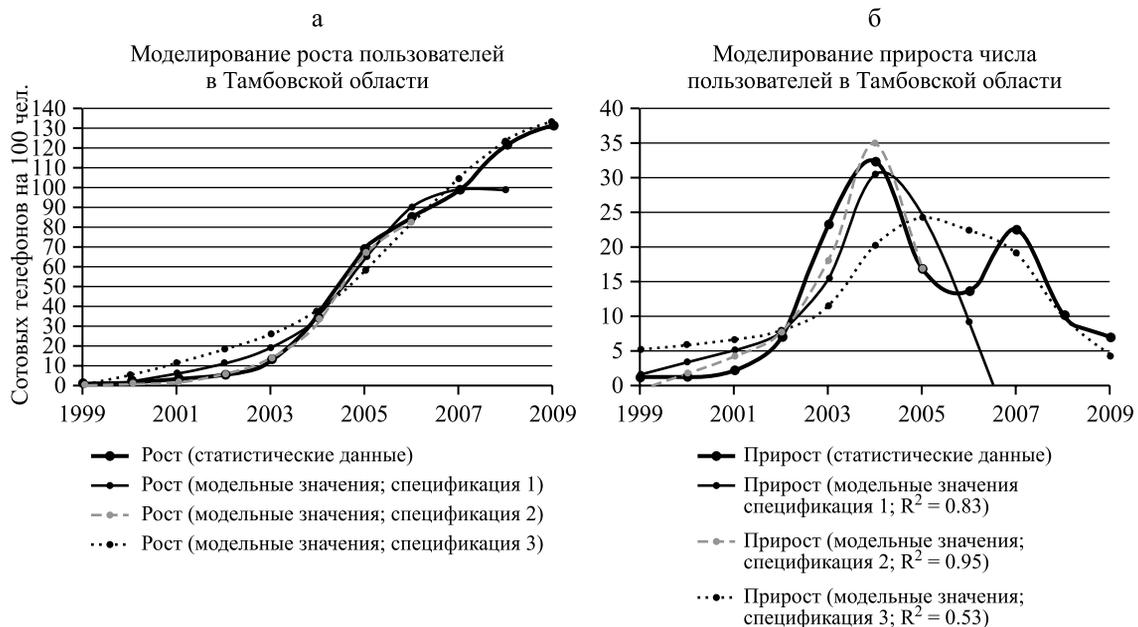


Рис. 5. Моделирование роста (а) и прироста (б) числа пользователей сотовой связью в Тамбовской области.

по формуле 6; как среднее арифметическое значений q , рассчитанных по формуле 7, с 2000 по 2009 г. (q_2); как медиана значений в тот же период (q_3). Лучшей объясняющей способностью обладает предложенная авторами модель ($R^2 = 0.69$).

Типология регионов России по их способности осваивать новые технологии. Для выявления типов регионов необходимо лучшее понимание основных зависимостей между параметрами предложенной модели (табл. 5). Коэффициент корреляции между p и q отрицательный и достаточно высокий, т.е. чем выше прирост новаторов в регионе, тем ниже прирост имитаторов, и наоборот. Обе оценки p положительно связаны с уровнем насыщения (\bar{F}_1), можно утверждать, что прирост новаторов выше в регионах с высокой потенциальной емкостью. При этом отсутствует корреляция между модельным p и значением прироста числа пользователей

в 1999 г. ($p_{\text{фактическое}}$). Модель завышает коэффициент p (рис. 6). Поэтому для целей типологии рекомендуется использовать фактическое значение.

Предложенная модель не во всех регионах хорошо описывает идущие процессы, так как коэффициент аппроксимации между реальными и модельными значениями ниже 0.8. Появление первых пользователей сотовой связи в ряде регионов не привело к росту использования технологии всеми жителями. Новаторы, которые первыми в стране начинают использовать новые продукты, присутствуют в большинстве субъектов Федерации. Но в ряде регионов взаимодействие в рамках социальной системы настолько слабое, что в течение длительного периода времени распространение нововведения между различными группами

Таблица 4. Коэффициент аппроксимации R^2 между модельными и реальными значениями

Показатель	\bar{F}_1 (рассчитано по формуле 6)	\bar{F}_2 (максимально наблюдаемое насыщение)	\bar{F}_3 (произведение численности населения и коэффициента 1.5)
q_1 (рассчитано по формуле 6)	0.691	0.612	0.483
q_2 (рассчитано как среднее арифметическое по формуле 7)	0.221	0.197	—
q_3 (рассчитано как медиана по формуле 7)	0.648	0.589	0.521

Примечание: указаны только коэффициенты корреляции, которые значимы на уровне 0.05.

Таблица 5. Коэффициент корреляции между основными параметрами модели для выборки регионов (с высоким коэффициентом аппроксимации)

Показатель	p_1	$p_{\text{фактическое}}$	q_1	q_1/p_1	\bar{F}_1
p_1	1.00		-0.44	-0.50	0.27
$p_{\text{фактическое}}$		1.00	-0.46	-0.15	0.66
q_1	-0.44	-0.46	1.00	0.38	-0.85
q_1/p_1	-0.50	-0.15	0.38	1.00	-0.30
\bar{F}_1	0.27	0.66	-0.85	-0.30	1.00

Примечание: коэффициенты корреляции значимы на уровне 0.05.

людей отсутствует⁷. В этом случае значим фактор расслоения общества по доходам, когда употребление новых продуктов и услуг наиболее богатой частью не ведет к их использованию остальным населением⁸. Кроме того, сотовая связь относится к так называемым интерактивным технологиям по классификации Э. Роджерса [18], для которых необходима критическая масса пользователей для взаимодействия. В ряде регионов Севера наблюдается недостаточное взаимодействие между новаторами и имитаторами в начальный период распространения инновации из-за высоких пространственных барьеров и низкой плотности населения. На Северном Кавказе и в южной части Центральной России подобными барьерами служат институциональная среда аграрных сообществ, значительно более консервативная, чем в урбанизированных районах.

Типология регионов России по инновативности, т.е. способности раньше других осваивать новые продукты, проведена по соотношению прироста числа новаторов и имитаторов (рис. 7). Использовались пороговые значения параметров $p_{\text{фактическое}}$ и q_1 (врезка). Показатель $p = 0.008$ – среднее значение для сотовой связи в мире [16], а 0.002 – среднее значение для России.

⁷ Во многих регионах первыми обладателями мобильных телефонов были представители администрации регионов, бизнесмены и собственники недвижимости с высокими доходами, а также представители криминальных слоев населения. Указанные категории действительно являются относительно замкнутыми социальными стратами. Мобильный телефон в первые годы распространения придавал высокий статус его обладателю.

⁸ Корреляция между коэффициентом Джини и рассчитанными p и q отрицательная с 2002 по 2011 г. и составляет от -0.08 до -0.17. Но корреляция между p фактическим (долей пользователей сотовой связью в 1999 г.) и коэффициентом Джини в тот же период уже оказывается положительной, как и соотношение имитаторов и новаторов (q/p) с 2008 г. Последнее было выявлено и в других странах.

В первый тип вошли столичные регионы с пригородами (Москва и Московская область, Санкт-Петербург и Ленинградская область), так как это крупнейшие города в России, в которых в 1990-е годы начался процесс диффузии сотовой связи благодаря высочайшей концентрации высокообразованных и богатых жителей, а также наличию иностранных специалистов, использующих мобильную связь. В этих регионах соотношение новаторов и имитаторов максимально.

Ко второму типу вследствие превалирующей иерархической диффузии ИКТ-продуктов в России преимущественно отнесены регионы с крупнейшими агломерациями (Новосибирская, Нижегородская, Самарская, Воронежская, Ростовская области) с высокой долей хорошо образованных (Томская область) и богатых (Тюменская область) жителей. Также в данный тип попали регионы с выгодным экономико-географическим положением: приморские (Приморский, Хабаровский, Краснодарский края), приграничные (Калининградская, Мурманская, Сахалинская области), где могли присутствовать иностранные специалисты, а также субъекты Федерации, расположенные вблизи крупнейших агломераций (Псковская и Тамбовская области, Республика Удмуртия). Можно говорить также о проявлении международной и межрегиональной диффузии соседства.

Третий тип представлен разнообразными средними регионами. Среди них выделяются регионы с крупными агломерациями (Челябинская, Волгоградская, Иркутская области, Красноярский край), в которых высока доля промышленного сектора, а соответственно, скорость освоения новых ИКТ-продуктов может быть ниже, чем в группе лидеров, так как выше доля рабочих специальностей, представители которых менее образованы, имеют более низкие доходы и иные потребности в общении. При этом средние регионы могут менять темпы роста, способны из аутсайдеров становиться лидерами и сильно

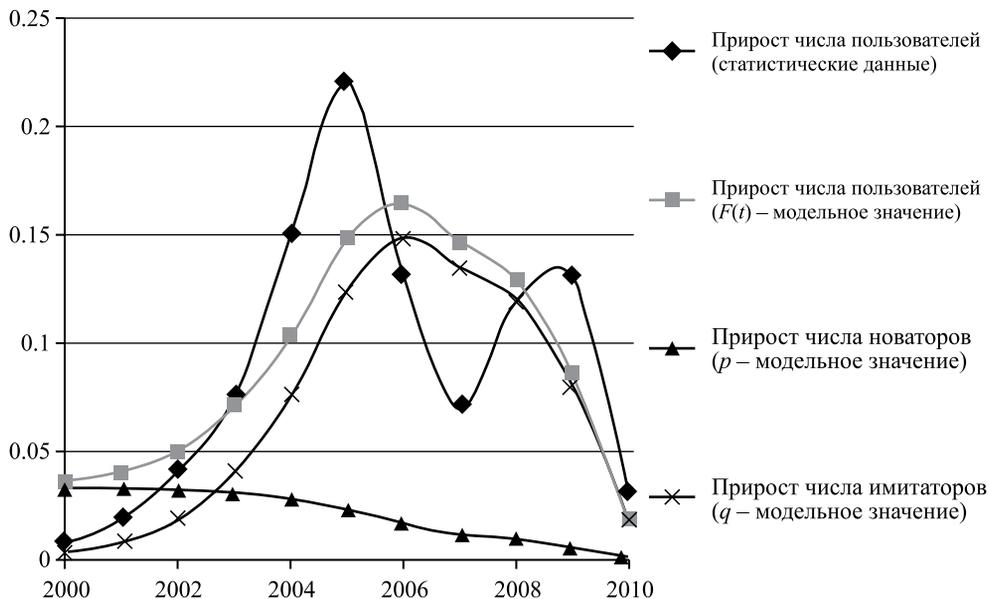


Рис. 6. Соотношение новаторов и имитаторов (модельное значение) и реальных данных по приросту числа пользователей в России с 2000 по 2010 г.

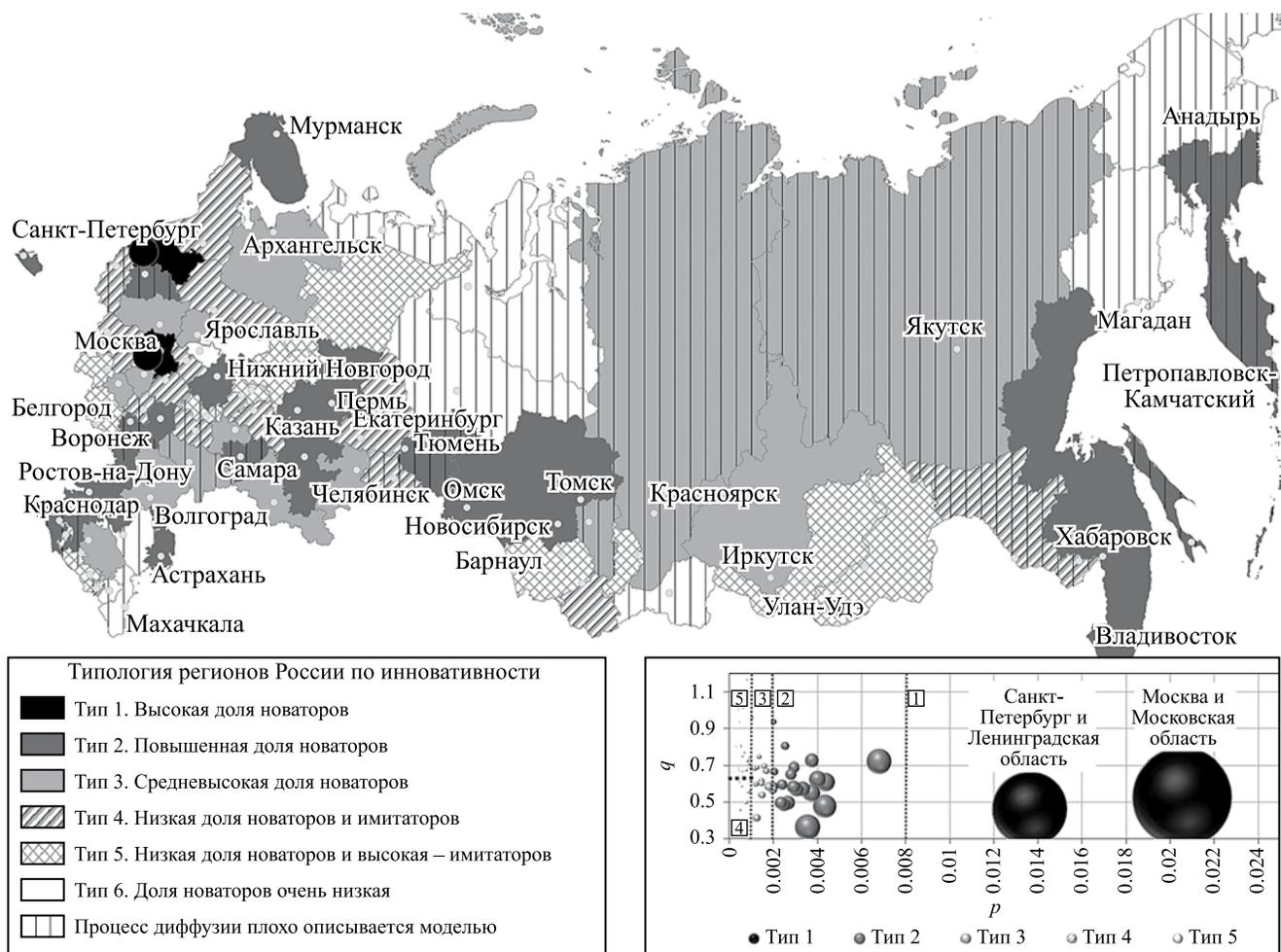


Рис. 7. Типы регионов России по уровню инновативности региональных сообществ (объем кружка на врезке зависит от соотношения p/q).

дифференцированы как по форме кривой, так и по темпам диффузии.

В четвертом и пятом типах регионов – инновативность низкая. В них сложно выделить общие черты, но чаще всего это регионы с высокой долей аграрного населения (Брянская и Белгородская области, Алтайский край), менее активного в освоении новых ИКТ-продуктов, и низкой плотностью городов и населения в целом (Вологодская и Костромская области, Республики Коми, Бурятия, Алтай, Хакасия, Забайкальский край). К этому типу также относится большинство республик Северного Кавказа из-за высоких инфраструктурных и институциональных барьеров и высокой доли сельского населения. Высокая доля имитаторов негативно влияет на потенциальную емкость региона (см. табл. 5), поэтому к пятому типу относятся также регионы с высокой долей имитаторов.

Доля новаторов незначительна (шестой тип) в удаленных арктических регионах из-за высоких барьеров коммуникации и расходов на создание соответствующей инфраструктуры, а в Чечне и Дагестане – из-за сложной социально-политической и экономической ситуации в начале 2000-х годов.

Заключение. В работе дан обзор основных моделей диффузии инноваций. Показано, что процесс проникновения нового продукта в сообщество зависит от механизма распространения сведений о потребляемом продукте и общего числа потенциальных потребителей (емкости сообщества). Во многих моделях присутствуют как первичные потребители, узнавшие об инновации из внешних для сообщества источников (новаторы), так и потребители, которые узнали о новой технологии или продукте от других пользователей – членов сообщества (имитаторы).

Описанная схема непосредственно отражается на процессах пространственной диффузии. Первый этап характеризуется локализацией процессов в регионах с высокой долей новаторов, на более поздних этапах преобладают имитационные механизмы. При этом для разных регионов график диффузии будет различаться временем начала диффузии, формой кривой (скоростью распространения) и потенциальным максимумом в зависимости от удаленности от центра. Анализ данных о пространственном распространении сотовой связи в регионах России подтверждает основные закономерности теоретических моделей: преобладает иерархическая диффузия, выделяется несколько стадий.

Проникновение сотовой связи в большинстве регионов России может быть описано с помощью модифицированной модели Ф. Басса. Предложена

методика моделирования этого процесса. Проведена верификация результатов с помощью расчета коэффициента аппроксимации между модельными и реальными значениями. Разработаны критерии выбора параметров модели.

С помощью описанной методики выявлены типы регионов по соотношению новаторов и имитаторов в региональных сообществах. Большинство новаторов (около 70%) сосредоточены в крупнейших агломерациях страны, при этом в Москве, Санкт-Петербурге и прилегающих к ним областях сосредоточено 57% первичных пользователей сотовой связью в 1999 г. Высокой инновативностью также обладают приморские и приграничные регионы (около 7%). На срединные регионы приходится около 20% новаторов. Отстающими с незначительным числом новаторов преимущественно являются наименее развитые регионы с аграрной специализацией, высокими коммуникационными барьерами.

Предложенная методика может применяться для исследования процессов распространения других инноваций благодаря схожести пространственных структур распространения ИКТ-продуктов. Модель может применяться для прикладных оценок потенциальных объемов рынка онлайн-услуг и динамики продаж в конкретных регионах. Разработанная типология может быть полезна для оценки мер региональной политики по внедрению новых технологий, законодательных норм и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабурин В.Л.* Инновационные циклы в российской экономике. М.: Едиториал УРСС, 2002. 120 с.
2. *Бабурин В.Л., Земцов С.П.* Регионы-новаторы и инновационная периферия России. Исследование диффузии инноваций на примере ИКТ-продуктов // Региональные исследования. 2014. № 3 (45). С. 27–37.
3. *Блануца В.И.* Пространственная диффузия нововведений: сфера неопределенности и сетевая модель // Региональные исследования. 2015. № 3 (49). С. 4–12.
4. *Леснова Ю.В.* География развития сотовой связи России: дисс. ... канд. геогр. наук: 25.00.24. М., 2004. 209 с.
5. *Нагирная А.В.* Информационная революция и вопросы географии связи // География и природные ресурсы. 2014. № 1. С. 5–12.
6. *Нагирная А.В.* Глобальные закономерности распространения информационно-коммуникационных технологий // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 5. С. 30–40.

7. Рачинский А.А. Распространение мобильной связи в России // Прикладная эконометрика. 2010. № 2 (18). С. 111–122.
8. Baburin V. and Zemtsov S. Diffusion of Innovation and ‘Five Russias’. Uddevalla Symposium, 2014. URL: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2594167 (15.09.2015).
9. Bass F. A new product growth model for consumer durables // Management Science. 1969. 15 (5). P. 215–227.
10. Brown L. Innovation diffusion: a new perspective. New York: Methuen, 1981. 368 p.
11. Comin D., Hobijn B., and Rovito E. Five facts you need to know about technology diffusion // National Bureau of Economic Research. 2006. № w11928.
12. Griliches Z. Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change // Econometrica. 1957. № 25. P. 501–522.
13. Hagerstrand T. Innovation Diffusion as a Spatial Process. Chicago, 1967. 334 p.
14. Mahajan V. and Peterson R. Models for Innovation Diffusion (Quantitative Applications in the Social Sciences). Sage University Paper, 1985. 87 p.
15. Mansfield E. Technical Change and the Rate of Imitation // Econometrica. 1961. № 29. P. 741–766.
16. Meade N. and Islam T. Modelling and forecasting the diffusion of innovation – a 25-year review // International Journal of Forecasting. 2006. № 22. P. 514–545.
17. Morrill R. The spatial organization of society. Belmont: Wadsworth Publishing company, 1970. 251 p.
18. Rogers E. Diffusion of Innovations. New York: Free Press, 2002 (5th ed.). 576 p.
19. Russel T. Comments on “The relationship between diffusion rates, experience curves and demand elasticities for consumer durable technological innovations” // J. of Business. 1980. № 53 (3). P. 69–73.
20. Van den Bulte C. and Stremersch S. Social contagion and income heterogeneity in new product diffusion: A meta-analytic test // Marketing Science. 2004. № 23. P. 530–544.
21. Wareham J., Levy A., and Cousins K. Wireless Diffusion and Mobile Computing: Implications for the Digital Divide // ECIS2002 Proceedings. Paper 62. 2002. P. 1308–1319.
4. Lesnova Y. Geography of Russian cellular communication. Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation. Moscow: Moscow State Univ., 2004.
5. Nagirnaya A. V. The information revolution and some issues in communication geography. *Geogr. Nat. Resour.*, 2014, vol. 35, no. 1, pp. 1–6.
6. Nagirnaya A. V. Global patterns of spread of information and communication technologies. *Izv. Ross. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2013, no. 5, pp. 30–40. (In Russ.).
7. Rachinskiy A. The spread of mobile communications In Russia. *Prikladnaya ekonometrika*, 2010, no. 2 (18), pp. 111–122. (In Russ.).
8. Baburin V., Zemtsov S. Diffusion of Innovation and ‘Five Russias’. Uddevalla Symposium, 2014. URL: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2594167 (September 15, 2015).
9. Bass F. A new product growth model for consumer durables. *Management Science*, 1969, no. 15 (5), pp. 215–227.
10. Brown L. *Innovation diffusion: a new perspective*. New York: Methuen, 1981. 368 p.
11. Comin D., Hobijn B., Rovito E. Five facts you need to know about technology diffusion. National Bureau of Economic Research, 2006, no. w11928.
12. Griliches Z. Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change. *Econometrica*, 1957, no. 25, pp. 501–522.
13. Hagerstrand T. *Innovation Diffusion as a Spatial Process*. Chicago, 1967. 334 p.
14. Mahajan V., Peterson R. *Models for Innovation Diffusion (Quantitative Applications in the Social Sciences)*. Sage University Paper, 1985. 87 p.
15. Mansfield E. Technical Change and the Rate of Imitation. *Econometrica*, 1961, no. 29, pp. 741–766.
16. Meade N., Islam T. Modelling and forecasting the diffusion of innovation – a 25-year review. *Int. J. Forecasting*, 2006, no. 22, pp. 514–545.
17. Morrill R. *The spatial organization of society*. Belmont: Wadsworth Publishing company, 1970. 251 p.
18. Rogers E. *Diffusion of Innovations* (5th ed.). New York: Free Press, 2002. 576 p.
19. Russel T. Comments on “The relationship between diffusion rates, experience curves and demand elasticities for consumer durable technological innovations”. *J. Business*, 1980, no. 53 (3), pp. 69–73.
20. Van den Bulte C., Stremersch S. Social contagion and income heterogeneity in new product diffusion: A meta-analytic test. *Marketing Sci.*, 2004, no. 23, pp. 530–544.
21. Wareham J., Levy A., Cousins K. Wireless Diffusion and Mobile Computing: Implications for the Digital Divide, in *ECIS2002 Proceedings*. Paper 62. 2002, pp. 1308–1319.

REFERENCES