

С.В. БАДИНА, Р.А. БАБКИН, А.Н. БЕРЕЗНЯЦКИЙ

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДАННЫХ СОТОВЫХ ОПЕРАТОРОВ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО РИСКА*

В статье предложено концептуальное обоснование возможности применения данных сотовых операторов в целях оценки уязвимости населения в исследованиях природного риска. Данные сотовых операторов позволяют получать информацию о дифференциации уязвимости населения крупного города (в статье приведен пример Москвы) к природным и техногенным опасностям с учетом реальной наличной численности населения и его движения в рамках различных временных циклов (суточном, недельном, сезонном). Достоверное представление о количестве населения в каждой точке городского пространства в определенный момент времени позволит не только своевременно оценить наиболее вероятное число людей в ареале потенциальной опасности, упростив тем самым работу специализированных служб экстренного реагирования, но и грамотно разработать комплекс превентивных мер в соответствии с реальной потребностью.

Ключевые слова: уязвимость населения, природные и техногенные риски, Москва, данные сотовых операторов.

JEL: O18; R23; J28

Проблемы оценки уязвимости населения крупных городов

Для современных территориальных социально-экономических систем даже на теоретическом уровне невозможно выстроить такое идеальное соотношение природных условий и антропогенной деятельности, которое обеспечивало бы приемлемый уровень риска (гарантировало бы безопасность общества и его хозяйственной деятельности на долгосрочную перспективу). Когда природные опасности угрожают густозаселенной территории (например, в городах и городских агломерациях), большая концентрация людей и инфраструктура, как правило, увеличивают масштаб их негативных последствий [1; 2]. Природные катастрофы зачастую приобретают природно-техногенный характер,

* Статья подготовлена по результатам исследования, выполненного при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Москвы, проект № 21-35-70004.

что делает крупные города *наиболее уязвимым элементом системы расселения* в современном мире [3]. Тем не менее социально-экономические преимущества городов, эффекты масштаба привлекают население сильнее, чем объективные природные и техногенные опасности.

Примеры данного экономического эффекта можно найти на протяжении всей человеческой истории. Так, город-курорт Канкун в Мексике подвержен сильным ураганам примерно раз в три года, что не снижает его статуса как одной из наиболее посещаемых туристских дестинаций в Северной Америке. Другой пример — активное землепользование в городе Неаполе и его окрестностях, где богатые вулканические почвы обрабатывались на протяжении многих веков, несмотря на риск новых извержений (сельское хозяйство в большинстве районов южной Италии затруднено из-за низкого качества почвы, а исключением является именно наиболее опасная область вокруг Везувия). Во всем мире, по оценкам, 9% населения проживает в пределах 100 км от исторически действующего вулкана (максимальны риски — для городов Юго-Восточной Азии, особенно в Индонезии и на Филиппинах, а также Центральной Америки [4]). На малых высотах прибрежных зон высока доля населения, подверженного циклонам и штормовым приливам, — это лишь 2% площади суши мира, где сконцентрировано 10% мирового населения [5]. Таким образом, в оценке риска чрезвычайно важно учитывать фактор концентрации населения и его хозяйственной деятельности, особенно при исследовании природных опасностей, действие которых носит площадной характер и охватывает большие территории [6].

Остальные факторы уязвимости населения крупных городов можно считать производными от этого, главного, такие как нехватка земельных ресурсов для нового строительства, ограничения, связанные с особенностями планировочной структуры города, быстрый рост населения и нерациональное градостроительное проектирование, активация опасных процессов вследствие антропогенного воздействия и пр. В особую группу факторов можно выделить институциональные проблемы, которые препятствуют эффективному противодействию опасностям и снижению риска. В соответствии с [7], уязвимость населения определяется как комбинация следующего: восприимчивости (зависит от общественной инфраструктуры, питания, дохода и общих экономических условий); способности справляться с ситуацией (зависит от государственного управления, медицинского обслуживания и материального обеспечения); адаптационных возможностей (своевременность адаптационных мероприятий, связанных с будущими стихийными бедствиями и изменением климата). Комбинация уязвимости и подверженности населения стихийным бедствиям определяет интегральный уровень риска [8]. Тем самым именно уязвимость — *ключевая социально-экономическая характеристика*, поддающаяся контролю и управлению: в наиболее развитых странах, даже в высокой степени подверженных природным опасностям, интегральный уровень риска ниже за счет грамотных адаптационных мер.

Из этого вытекает необходимость научного поиска в области разработки нового географического подхода к интерпретации уязвимости населения: территориальную уязвимость населения следует понимать как функцию от концентрации и мобильности населения в пространстве. Иными словами, *логически непротиворечивым* является утверждение, что чем выше концентрация и интенсивнее движение населения на конкретной территории (интенсивность движения повышает неопределенность в системе), тем выше вероятность негативных последствий в случае возникновения природных и техногенных опасностей при прочих равных условиях. Однако возникает методическая проблема измерения пространственной уязвимости населения, связанная с ограничениями российской статистики.

Росстат предоставляет данные по населению городов, во-первых, в достаточно мелком масштабе (максимальная детализация в большинстве случаев — лишь до районов города), во-вторых, в статичном виде (возможно отследить лишь среднегодовую динамику, в то время как движение населения внутри городского пространства в суточных, недельных, сезонных циклах остается неизвестным). При этом при оценке уязвимости населения к природным и техногенным опасностям важно иметь достоверное представление о том, сколько людей находится в каждой точке городского пространства в определенный момент времени. Это позволит не только своевременно оценить наиболее вероятное количество людей в ареале потенциальной опасности, но и грамотно разработать комплекс превентивных мер в соответствии с реальной потребностью. Решение этой важной задачи становится возможно путем использования альтернативных источников статистической информации — данных сотовых операторов.

Возможности и ограничения применения данных сотовых операторов в исследованиях природного и техногенного риска

Начало использования аналитики больших данных в социально-экономических науках (данных сотовых операторов, банковских карт, социальных сетей, спутниковых снимков и т.д.) явилось своеобразной промышленной революцией в области информации, крупнейшим технологическим прорывом, раскрывающим возможности для дополнения и расширения знаний, построенных на основе традиционной статистики.

Данные сотовых операторов занимают в этом списке особое место и служат *наиболее многообещающими источниками сведений* для ряда перспективных направлений исследований, требующих повышенной пространственно-временной детализации информации, в частности в области защиты населения от чрезвычайных ситуаций (далее — ЧС) природного и техногенного характера.

Анализ зарубежного опыта использования больших данных, в т.ч. данных операторов сотовой связи, показал следующее.

1. Несравнимое преимущество данных сотовых операторов — их всеохватность, сопоставимая с данными переписей населения, хотя и без переписной социально-демографической детализации. Сотовые данные обезличены и не дают представления о половозрастной и социальной структуре населения, что является существенным ограничением при исследовании уязвимости.

2. Высокая репрезентативность данных, основанных на сочетании практически стопроцентной выборки и жесткой привязки мобильных устройств к своим владельцам, подтверждается данными доклада за 2014 г. Международного союза электросвязи [9], согласно которому средняя распространенность мобильной связи в мире достигла к тому времени 96,4 на 100 жителей. При этом в России этот показатель достигал 99,7 на 100 жителей.

3. Большая часть работ, основанных на данных сотовых операторов, осуществлялась для целей транспортного планирования [10–12], в меньшей степени — для территориального и стратегического планирования и получения статистики (прежде всего туризма) [13–15].

4. Уникальные возможности данных мобильной связи при ситуативном анализе определяют высокий потенциал их применения при мониторинге последствий различного рода ЧС и изучении «шоковых пульсаций» численности населения. Оперативные данные сотовых операторов, получаемые в режиме реального времени, при своевременной обработке и использовании могут выступать ценнейшим источником информации для экстренных служб в ситуациях, когда требуется незамедлительная информация о перемещении и местонахождении пострадавших людей, их точном количестве, например, в случае природных или техногенных бедствий, вооруженных конфликтов или эпидемий [16–18]. Автоматизация алгоритмов обработки информации и моделирование наиболее вероятных состояний системы расселения крупного города в каждой малой ячейке его пространства могут заменить оперативные данные в случае невозможности их предоставления.

5. Методический аппарат, полученный в рамках исследования пространственной уязвимости населения, может быть использован и в других наиболее актуальных в связи с пандемией COVID-19 исследованиях. Например, в работах [17; 19] путем отслеживания масштабов миграций из очага эпидемии в другие районы (подсчет среднесуточного количества владельцев SIM-карт, выезжающих из зоны вспышки заболевания) составлены графы маршрутов импорта болезней, демонстрирующие пространственные характеристики распространения вспышек малярии в Кении и холеры на Гаити. Во всем мире десятки научно-исследовательских коллективов, используя все имеющиеся возможности виртуальных данных, приступили к мониторингу воздействия, оказываемого пандемией на мобильность населения [20–22]. Аналогичные исследования в России еще не проводились.

6. Поскольку большинство людей проводят большую часть своего времени только в нескольких местах, с помощью методов кластериза-

ции можно четко определить местонахождение дома, офиса, мест рекреации и досуга, а также проводить сравнение получившихся результатов с официальными статистическими данными, в т.ч. разработать процедуры дооценки недостающих значимых параметров уязвимости на основании данных официальной статистики [23; 24].

7. Широким направлением исследований с использованием данных сотовых операторов являются исследования трудовых маятниковых миграций (на примере Граца, Рима, Таллина и многих других городов [23; 25–27]). Эти работы наглядно продемонстрировали, насколько изменчивы города в зависимости от времени суток, дней недели, сезонов года или разнообразных событий. Такая изменчивость, превышение официально зарегистрированного количества населения, повышает неопределенность, а значит, и риски в случае возникновения ЧС, т.к. экстренные службы могут не рассчитывать на большее число человек в зоне потенциальной опасности.

8. Опыт исследований событийности с применением данных сотовых операторов [28–32] чрезвычайно важен в контексте оценки уязвимости населения Москвы и других городов-миллионеров, т.к. крупные события (празднование Дня города, Дня Победы, международные события, такие как Чемпионат мира по футболу – 2018 и пр.) многократно увеличивают плотность и численность населения, причем в определенных локациях. Понимание точного количества людей чрезвычайно важно с точки зрения обеспечения их безопасности.

9. Данные сотовых операторов позволяют оценить наличное число людей, находящихся в определенный момент времени в определенном месте, а также рассчитать объемы и показать направления их перемещений или транзита. В результате появляется возможность выделить как наиболее уязвимые территории (с повышенными значениями наличной плотности или подвижности населения), так и временные промежутки, когда уязвимость населения наивысшая. Все это позволяет разрабатывать превентивные и ликвидационные меры (в т.ч. – планы эвакуации населения) по борьбе с ЧС и заложить основу формирования методики оценки уязвимости населения при вероятных ЧС природного или техногенного характера.

Первичный анализ данных сотовых операторов для целей оценки пространственной уязвимости населения Москвы

Апробация предложенного подхода к оценке пространственной уязвимости запланирована на примере г. Москвы.

С одной стороны, московская агломерация является крупнейшей в России, и в системе ее расселения продолжается тренд увеличения концентрации населения, поэтому поиск возможностей оптимизации ее территориальной структуры расселения с точки зрения его деконцентрации и снижения уязвимости является важной исследовательской задачей. С другой стороны, данные сотовых операторов впервые начали

систематически собираться и обрабатываться в России именно в столичном регионе, и для решения задач данного исследования, разработки и отработки методик они были предоставлены Департаментом информационных технологий Москвы.

Как было показано в предыдущих исследованиях авторов [33–35], если уровень природной опасности для всей территории Москвы примерно одинаков, то уровень техногенной опасности различен и ареалы техногенной опасности *в большинстве случаев имеют четкую географическую привязку к конкретным опасным объектам*. Поскольку Москва и по сей день остается городом, где действует большое число промышленных предприятий, особенно следует отметить, что уровень риска повышается за счет застройки санитарно-защитных зон вокруг потенциально опасных объектов, за счет физического старения основных фондов, появления большого количества мелких производителей вне надзорного поля, а также не всегда достаточной оснащенности промышленных предприятий и объектов городского хозяйства современными системами защиты.

Информационной базой исследования выступают данные операторов сотовой связи («Билайн», «МТС», «Мегафон», «Tele2») о местах локализации абонентов за 2019 г. В распоряжении авторов имеется набор *обезличенных* данных о положении абонентов сотовых сетей в квадратах 500 на 500 м на территории Москвы и Московской области, характеризующих численность *наличного* населения *ячеек*. Временной срез данных – январь 2019 – январь 2020 гг. Временной такт регистрации данных – 30 минут. Количество ячеек – 190,2 тыс. Структура данных: метка даты/времени, код ячейки пребывания абонента, код ячейки отбытия абонента, численность абонентов по соответствующим ячейкам за такт. Набор ключей – привязка ячеек к соответствующим территориям Москвы и Московской области.

В исследовании задействован достаточно внушительный объем данных в 2,5 ТБ: свыше 36 млн измерений в более чем 7 тыс. временных срезов. Данные сотовых операторов представляют собой информацию о местонахождении абонентов в течение суток, полученные в результате измерения расположения мобильного телефона относительно трех станций сотовой связи (см. рис. 1, 2).

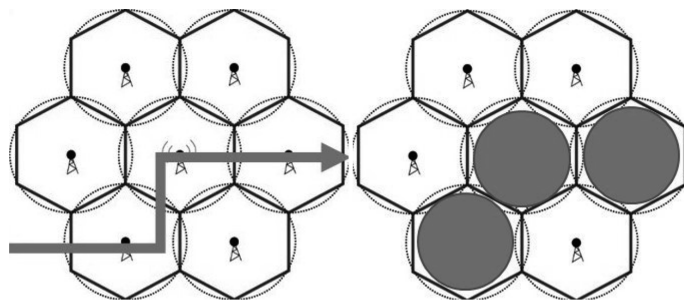


Рис. 1. Принцип получения данных о мобильности абонентов средств связи

Источник: составлено авторами.

	ts	zid	home_zid	customers_cnt_total
1	2019.07.21 14:00	467	-1	163
2	2019.07.21 14:00	467	337	2
3	2019.07.21 14:00	467	154	0
4	2019.07.21 14:00	467	334	2
5	2019.07.21 14:00	467	208	1
6	2019.07.21 14:00	467	251	3
7	2019.07.21 14:00	467	130	2
8	2019.07.21 14:00	467	77	1
9	2019.07.21 14:00	467	156	3
10	2019.07.21 14:00	467	404	1
11	2019.07.21 14:00	467	205	4
12	2019.07.21 14:00	467	436	0
13	2019.07.21 14:00	467	415	3
14	2019.07.21 14:00	467	455	3
15	2019.07.21 14:00	467	30	2
16	2019.07.21 14:00	467	324	3
17	2019.07.21 14:00	467	76	1
18	2019.07.21 14:00	467	23	2
19	2019.07.21 14:00	467	224	2
20	2019.07.21 14:00	467	137	1
21	2019.07.21 14:00	467	210	5
22	2019.07.21 14:00	467	253	6

Рис. 2. Пример первичной базы данных для конкретной ячейки (№ 467)

Источник: составлено авторами по данным Департамента информационных технологий г. Москвы.

В процессе формирования первичной базы данных специалистами Департамента информационных технологий Москвы было произведено обезличивание и очищение выборки звонков от сигналов модемов, планшетов, телефонов с двумя и более сим-картами, а также использованы калибровочные коэффициенты, позволяющие нивелировать погрешности, связанные с отсутствием мобильных телефонов у некоторых категорий населения (выполнено по закрытым методикам Департамента).

В рамках поставленных задач *требовалась первичная обработка данных*: агрегация численности абонентов ячеек прибытия по ячейкам-источникам, хронологическая сортировка полученной информации, привязка полученной информации к соответствующим районам Москвы и Московской области.

В настоящий момент времени существует большое количество инструментов по работе с данными: от разнообразных облачных хранилищ и связанных с ними возможностей обработки до таких сред программирования, как *R, Matlab, Anaconda/Python* и пр. Анализ структуры данных и первичный набор задач по их обработке привел к пониманию, что в этой ситуации наилучшим образом подходит механика реляционной базы данных, а в качестве подходящей среды — одна из реализаций *SQL*, поскольку исходная база данных представляет собой набор объемных таблиц. При этом требуется решить следующие задачи:

- операция суммирования численности абонентов ячеек прибытия с группировкой по совпадающим кодам ячеек;
- сортировка в хронологическом порядке;
- привязка ячеек к соответствующим территориям.

С этими задачами превосходно справляется любая *SQL*. При этом используется достаточной простой код для алгоритмов. Возможным *ограничением* при данном подходе является, безусловно, объем данных и возможности обработки на персональном компьютере. В распоряжении авторов имеется исходный набор данных в виде неупорядоченной таблицы с кодами ячеек и численностью абонентов ячеек, таблица с территориальными идентификаторами ячеек. Был разработан и протестирован скрипт, позволяющий провести операцию суммирования по однотипным ячейкам, отсортировать результат в хронологическом порядке и привязать к конкретной территории. Первичное графическое обобщение полученных результатов приведено на *рисунках 3–4*.

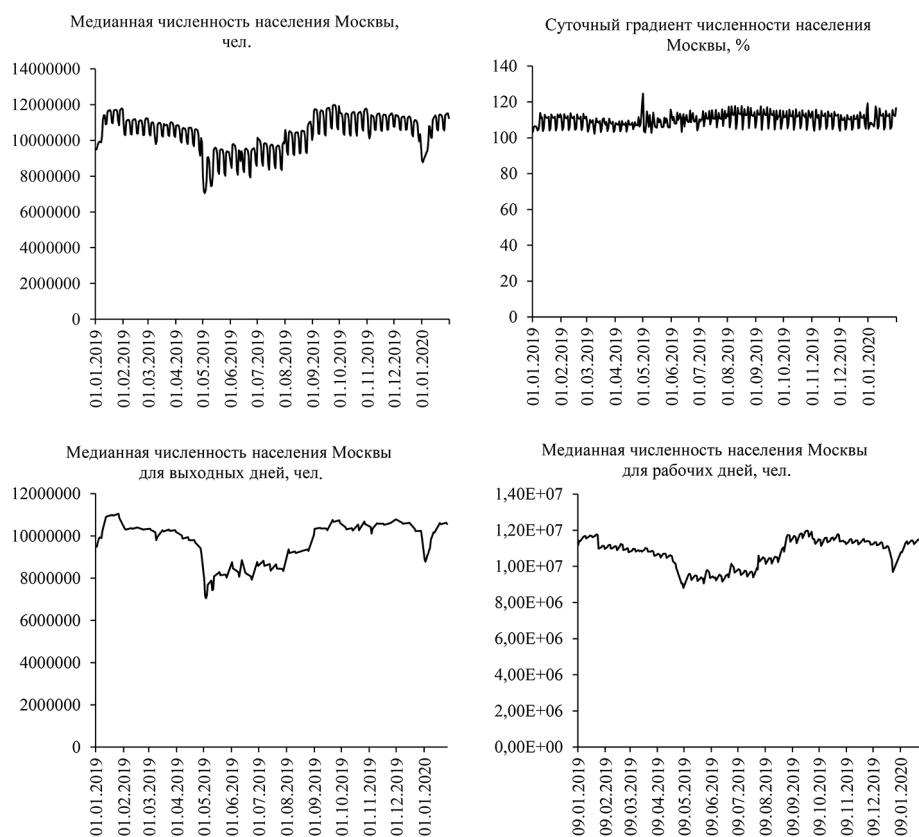


Рис. 3. Графики пульсаций численности населения в Москве, полученные на основе обработки данных сотовых операторов

Источник: рассчитано авторами по данным Департамента информационных технологий г. Москвы.

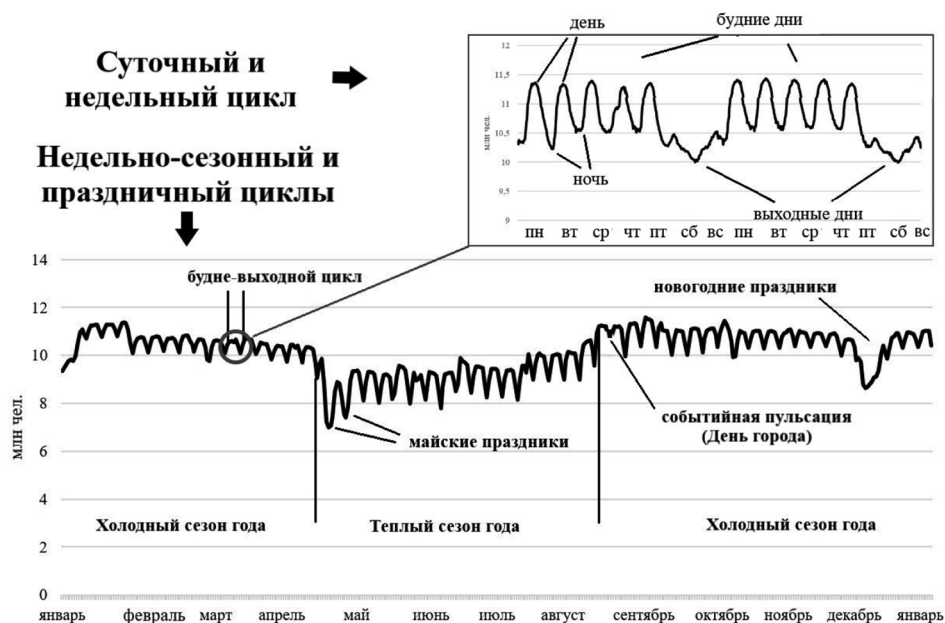


Рис. 4. Пульсационный ряд численности наличного населения г. Москвы в январе 2019 – январе 2020 гг.

Источник: рассчитано авторами по данным Департамента информационных технологий г. Москвы.

Медианная численность населения наглядно демонстрирует флуктуации населения в недельном (множество локальных экстремумов /точек максимума/ в выходные дни в течение всего года) и сезонном (годовой минимум в летний период) циклах. Кроме того, ярко выделяются периоды майских и новогодних праздников. График со среднесуточными градиентами (градиент как разница максимального и минимального значения численности населения в каждой ячейке) демонстрирует повышенные градиенты для праздничных дней (при этом период новогодних праздников после 1 января характеризуется сниженными градиентами в силу меньшей мобильности горожан в эти дни). Графики медианной численности населения, построенные отдельно для будних и для выходных дней, подтверждают обозначенные выше закономерности. На основании первичного анализа годовой динамики было выделено два временных макросреза данных: холодный сезон года (с сентября по апрель) и теплый (с мая по август) с характерными для них закономерностями.

В качестве одной из первичных оценок произведена оценка численности наличного населения в пределах санитарно-защитных зон (далее – СЗЗ) потенциально опасных предприятий Москвы. Источником техногенной опасности в первую очередь являются предприятия, чей технологический цикл связан с применением либо хранением опасных веществ. С помощью геоинформационных методов и методов пространственного

анализа данных в первом приближении выявлены ареалы максимального риска (рассчитано количество и плотность наличного населения в границах СЗЗ опасных предприятий в разные периоды времени). За основу взята карта СЗЗ из Генплана Москвы.

Согласно проведенным расчетам, к наиболее уязвимым территориям Москвы можно отнести районы делового Центра, а также территории, примыкающие к третьему транспортному кольцу (окраина города в начале советской индустриализации), где, наряду с закрытием многих предприятий и строительством на их месте жилищных комплексов и переоборудованием зданий бывших цехов в офисы, значительная часть предприятий продолжает функционировать. Расчеты показали, что медианная среднегодовая плотность наличного населения в их пределах – более 10 тыс. чел./км². Тем не менее максимальная плотность (более 20 тыс. чел./км²) населения характерна для СЗЗ, в зону действия которых попадают крупные транзитные магистрали (как правило, данные СЗЗ имеют значительно меньшую площадь).

Для СЗЗ, находящихся на периферии Старой Москвы, частично примыкающих к МКАДу, или в Новой Москве, характерна относительно низкая плотность (менее 10 тыс. чел./км²): там в основном расположены работающие предприятия, и нет сильного тренда строительства жилья и офисов на месте промзон.

Важно отметить, что по нашим оценкам в пределах СЗС, т.е. ареалах повышенной опасности, не предназначенных для проживания населения, концентрируется от 14% (в ночное время) до 24% (в дневное) населения Москвы, т.е. порядка 1,6 и 3 млн чел. соответственно. Хотя данные официальных документов говорят лишь о десятках тысяч людей. Так, по данным ГАУ «Институт Генплана Москвы», в пределах СЗЗ проживает лишь 93,2 тыс. чел., что несопоставимо меньше полученных нами значений. Более того, согласно Генплану, эту цифру планируется свести до нулевых значений в ближайшие годы.

Этот пример наглядно демонстрирует, что *официально принятые оценки уязвимости населения нельзя считать репрезентативными*. В случае возникновения действительно крупной катастрофы в ареале ее воздействия может оказаться значительно больше людей, чем ожидалось. Это может существенным образом затруднить проведение эвакуационных мероприятий, вызвать нехватку сил и средств, направленных на ликвидацию чрезвычайной ситуации.

Поэтому перспектива данной работы состоит в том, что за счет наличия длинных рядов непрерывных и равноинтервальных измерений состояний системы расселения Москвы в каждой малой ячейке ее пространства появляется возможность нахождения наиболее вероятных состояний системы в заданные временные срезы. Иными словами, *появляется возможность перехода* от наиболее широко распространенных к настоящему моменту детерминированных и статистических оценок уязвимости населения к вероятностным (а стохастическая природа риска предполагает использование именно вероятностных мето-

дов). С прагматической точки зрения это означает, что спецслужбы экстренного реагирования даже за неимением доступа к оперативной информации о количестве населения в определенной локации в случае необходимости могут получить информацию о наиболее вероятной численности на основании результатов расчетов, которые будут получены по завершении данного исследования.

Список литературы

1. *Adhvaryu A., Uwe Deichmann*. Information Economics Aspects of Risk Reduction in Urban Settings // Development Research Group, World Bank, 2009. P. 37–52.
2. *Lall S., Deichmann U.* Density and Disasters: Economics of Urban Hazard Risk // The World Bank Research Observer. 2012. Vol. 27. No. 1. P. 74–105.
3. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420). New York: United Nations, 2019. 126 p.
4. *Small C., Naumann T.* The Global Distribution of Human Population and Recent Volcanism // Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards, 2001. P. 93–109.
5. *McGranahan G., Balk D., Anderson B.* The Rising Tide: Assessing the Risks of Climate Change and Human Settlements in Low Elevation Coastal Zones // Environment and Urbanization. 2007. No. 19 (1). P. 17–37.
6. *Бабурин В.Л., Бадина С.В.* Оценка социально-экономического потенциала территории, подверженной неблагоприятным и опасным природным явлениям // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2015. № 5. С. 9–16.
7. World Risk Report 2020 // Bündnis Entwicklung Hilft. URL: <http://weltrisikobericht.de/english> (дата обращения: 01.08.2021).
8. *Бадина С.В.* Прогнозирование социально-экономических рисков в криолитозоне Российской Арктики в контексте перспективных климатических изменений // Проблемы прогнозирования. 2020. № 4. С. 55–65.
9. Measuring the Information Society Report // International Telecommunication Union Place des Nation. Geneva. 2014. 270 p.
10. *Caceres N., Wideberg J.P., Benitez F.G.* Deriving Origin-Destination Data From a Mobile Phone Network // IET Intelligent Transport Systems. 2007. Vol. 1. No. 1. P. 15–26.
11. *Ramm K., Schwieger V.* Mobile Positioning for Traffic State Acquisition // Journal of Location Based Services. 2007. Vol. 1. No. 2. P. 133–144.
12. *Pastinen V., Keskikiikonen H., Vallenius J., Kivari M., Lehto H.* Paikannusmenetelmät osana henkilöliikennetutkimusta // Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. 2017.
13. *Ahas R., Aasa A., Silm S., Tiru M.* Mobile Positioning Data in Tourism Studies and Monitoring: Case Study in Tartu, Estonia // Proceedings of the International Conference in Ljubljana: Information and Communication Technologies in Tourism. Slovenia, 2007. P. 119–128.
14. *Ouředníček M., Nemeškal J., Špačková P., Hampl M., Novak J.A.* A Synthetic Approach to the Delimitation of the Prague Metropolitan Area // Journal of Maps. 2018. Vol. 14. No. 1. P. 26–33.
15. ESSnet Big Data. 2020 // European Commission. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/cros/content/essnet-big-data_en (дата обращения 15.08.2021).

16. Deville P., Linard C., Martine S., Gilbert M., Steven F., Gaughan A., Blondel V., Tatem A. Dynamic Population Mapping Using Mobile Phone Data // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2014. Vol. 111. No. 45. P. 15888–15893.
17. Lu X., Bengtsson L., Holme P. Predictability of Population Displacement after the 2010 Haiti Earthquake // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2012. Vol. 109. No. 29. P. 11576–11581.
18. Tizzoni M., Bajardi P., Decuyper A., King G., Schneider C., Blondel V., Smoreda Z., González M., Colizza V. On the Use of Human Mobility Proxies for Modeling Epidemics // PLoS computational biology. 2014. Vol. 10. No. 7. P. 1–35.
19. Wesolowski A., Eagle N., Tatem A., Smith D.L. Quantifying the Impact of Human Mobility on Malaria // Science. 2012. Vol. 338. No. 6104. P. 267–270.
20. Grantz K.H., Meredith H.R., Cummings D.A. et. al. The Use of Mobile Phone Data to Inform Analysis of COVID-19 Pandemic Epidemiology // Nature communications. 2020. Vol. 11. No. 1. P. 1–8.
21. Oliver N., Lepri B., Sterly H., Lambiotte R. Mobile Phone Data for Informing Public Health Actions Across the COVID-19 Pandemic Life Cycle // Science Advances. 2020. No. 6 (23). DOI:10.1126/sciadv.abc0764
22. Parker M.J., Fraser C., Abeler-Dörner L., Bonsall D. Ethics of Instantaneous Contact Tracing Using Mobile Phone Apps in the Control of the COVID-19 Pandemic // Journal of Medical Ethics. 2020. Vol. 46. No. 7. P. 427–431.
23. Csáji B., Browet A., Traag V.A., Delvenne J.-C., Huens E., Van Dooren P., Smoreda Z., Blondel V. Exploring the Mobility of Mobile Phone Users // Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications. 2013. Vol. 392. No. 6. P. 1459–1473.
24. Tiru M. Overview of the Sources and Challenges of Mobile Positioning Data for Statistics // International Conference on Big Data for Official Statistics. Beijing, 2014. P. 1–26.
25. Ratti C. Mobile Landscape: Graz in Real Time // Proceedings of 3rd Symposium on 1 & TeleCartography. Vienna University of Technology, 2005. P. 28–30.
26. Ahas R., Silm S., Järvi O., Saluveer E., Tiru M. Using Mobile Positioning Data to Model Locations Meaningful to Users of Mobile Phones // Journal of Urban Technology. 2010. Vol. 17. No. 1. P. 3–27.
27. Calabrese F., Diao M., Lorenzo D., Ferreira J., Ratti C. Understanding Individual Mobility Patterns from Urban Sensing Data: A Mobile Phone Trace Example // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2013. Vol. 26. P. 301–313.
28. Real Time Rome // Senseable City Laboratory. URL: <http://senseable.mit.edu/realtimerome> (дата обращения 23.10.2021).
29. Andrienko G., Andrienko N. Spatio-Temporal Aggregation for Visual Analysis of Movements // Visual Analytics Science and Technology Conference. Columbus : IEEE, 2008. P. 51–58.
30. Ruslani A., Madjida W.O.Z., Nugroho A.R.S. The Use of Mobile Positioning Data to Obtain Accommodation Statistics: Case Study of Indonesia // Asia-Pacific Economic Statistics Week 2019. Bangkok, 2019. 19 p.
31. Versichele M., Neutens T., Goudeseune S., Bossche van F., Weghe V.de.W. Mobile Mapping of Sporting Event Spectators Using Bluetooth Sensors: Tour of Flanders 2011 // Sensors. 2012. Vol. 12. No. 10. P. 14196–14213.
32. Football Cup Visitors Analysis // Habidatum. 2017. URL: <https://projects.habidatum.com/#football-cup-visitors-analysis> (дата обращения: 25.10.2021).
33. Бадина С.В., Бабкин Р.А. Оценка уязвимости наличного населения Москвы к природным и техногенным опасностям // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2021. Т. 27. № 4. С. 184–201.
34. Бабкин Р.А., Бадина С.В. Анализ уязвимости населения Москвы к угрозам природного и техногенного характера (с использованием данных сотовых

операторов) // Системное моделирование социально-экономических процессов: труды 44-ой Международной научной школы-семинара, г. Воронеж, 4–9 октября 2021 г. / под ред. В.Г. Гребенникова, И.Н. Щепиной. Воронеж: Истоки, 2021. С. 190–195.

35. Бадина С.В., Бабкин Р.А. Оценка уязвимости наличного населения городов к природным и техногенным опасностям с использованием данных мобильных операторов // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и промышленных вызовов (Опасные явления – III): материалы III Международной научной конференции. Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2021. С. 325–329.

References

1. Adhvaryu A., Uwe Deichmann. Information Economics Aspects of Risk Reduction in Urban Settings, *Development Research Group, World Bank*, 2009, pp. 37–52.
2. Lall S., Deichmann U. Density and Disasters: Economics of Urban Hazard Risk, *The World Bank Research Observer*, 2012, Vol. 27, No.1, pp. 74–105.
3. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019), *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*. New York: United Nations. 126 p.
4. Small C., Naumann T. The Global Distribution of Human Population and Recent Volcanism, *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 2001. pp. 93–109.
5. McGranahan G., Balk D., Anderson B. The Rising Tide: Assessing the Risks of Climate Change and Human Settlements in Low Elevation Coastal Zones, *Environment and Urbanization*, 2007, No. 19 (1), pp. 17–37.
6. Baburin V.L., Badina S.V. Otsenka sotsial'no-ekonomicheskogo potentsiala territorii, podverzhennoi neblagopriyatnym i opasnym prirodnyim iavleniiam [Assessment of the Socio-Economic Potential of a Territory Subject to Unfavorable and Hazardous Natural Phenomena], *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiia* [Bulletin of the Moscow University. Series 5: Geography], 2015, No. 5, pp. 9–16. (In Russ.).
7. World Risk Report 2020, *Bündnis Entwicklung Hilft*. Available at: <http://weltrisikobericht.de/english> (accessed 01 August 2021).
8. Badina S.V. Prognozirovanie sotsial'no-ekonomicheskikh riskov v kriolitozone Rossiiskoi Arktiki v kontekste perspektivnykh klimaticheskikh izmenenii [Forecasting Socio-Economic Risks in the Permafrost Zone of the Russian Arctic in the Context of Promising Climatic Changes], *Problemy prognozirovaniia* [Problems of forecasting], 2020, No. 4, pp. 55–65. (In Russ.).
9. Measuring the Information Society Report, *International Telecommunication Union Place des Nation*. Geneva, 2014, 270 p.
10. Caceres N., Wideberg J.P., Benitez F.G. Deriving origin–destination data from a mobile phone network, *IET Intelligent Transport Systems*, 2007, Vol. 1, No. 1, pp. 15–26.
11. Ramm K., Schwiager V. Mobile Positioning for Traffic State Acquisition, *Journal of Location Based Services*, 2007, Vol. 1, No. 2, pp. 133–144.
12. Pastinen V., Keskikiiikonen H., Vallenius J., Kivari M., Lehto H. Paikannusmenetelmät osana henkilöliikennetutkimusta, *Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä*, 2017.
13. Ahas R., Aasa A., Silm S., Tiru M. Mobile Positioning Data in Tourism Studies and Monitoring: Case Study in Tartu, Estonia, *Proceedings of the Inter-national*

Conference in Ljubljana: Information and Communication Technologies in Tourism, Slovenia, 2007, pp. 119–128.

14. Ouředníček M., Nemeškal J., Špačková P., Hampl M., Novak J.A. A Synthetic Approach to the Delimitation of the Prague Metropolitan Area, *Journal of Maps*, 2018, Vol. 14, No. 1, pp. 26–33.

15. ESSnet Big Data. 2020, *European Commision*. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/cros/content/essnet-big-data_en (accessed 15 August 2021).

16. Deville P., Linard C., Martine S., Gilbert M., Steven F., Gaughan A., Blondel V., Tatem A. Dynamic Population Mapping Using Mobile Phone Data, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2014, Vol. 111, No. 45, pp. 15888–15893.

17. Lu X., Bengtsson L., Holme P. Predictability of Population Displacement after the 2010 Haiti Earthquake, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012, Vol. 109, No. 29, pp. 11576–11581.

18. Tizzoni M., Bajardi P., Decuyper A., King G., Schneider C., Blondel V., Smoreda Z., González M., Colizza V. On the Use of Human Mobility Proxies for Modeling Epidemics, *PLoS computational biology*, 2014, Vol. 10, No. 7, pp. 1–35.

19. Wesolowski A., Eagle N., Tatem A., Smith D.L. Quantifying the Impact of Human Mobility on Malaria, *Science*, 2012, Vol. 338, No. 6104, pp. 267–270.

20. Grantz K.H., Meredith H.R., Cummings D.A. et. al. The Use of Mobile Phone Data to Inform Analysis of COVID-19 Pandemic Epidemiology, *Nature communications*, 2020, Vol. 11, No. 1, pp. 1–8.

21. Oliver N., Lepri B., Sterly H., Lambiotte R. Mobile Phone Data for Informing Public Health Actions Across the COVID-19 Pandemic Life Cycle, *Science Advances*, 2020, No. 6 (23). DOI:10.1126/sciadv.abc0764

22. Parker M.J., Fraser C., Abeler-Dörner L., Bonsall D. Ethics of Instantaneous Contact Tracing Using Mobile Phone Apps in the Control of the COVID-19 Pandemic, *Journal of Medical Ethics*, 2020, Vol. 46, No. 7, pp. 427–431.

23. Csáji B., Browet A., Traag V.A., Delvenne J.-C., Huens E., Van Dooren P., Smoreda Z., Blondel V. Exploring the Mobility of Mobile Phone Users, *Physica A: statistical mechanics and its applications*, 2013, Vol. 392, No. 6, pp. 1459–1473.

24. Tiru M. Overview of the Sources and Challenges of Mobile Positioning Data for Statistics, *International Conference on Big Data for Official Statistics*. Beijing, 2014, pp. 1–26.

25. Ratti C. Mobile Landscape: Graz in Real Time, *Proceedings of 3rd Symposium on I & TeleCartography*. Vienna University of Technology, 2005, pp. 28–30.

26. Ahas R., Silm S., Järvi O., Saluveer E., Tiru M. Using Mobile Positioning Data to Model Locations Meaningful to Users of Mobile Phones, *Journal of Urban Technology*, 2010, Vol. 17, No. 1, pp. 3–27.

27. Calabrese F., Diao M., Lorenzo D., Ferreira J., Ratti C. Understanding Individual Mobility Patterns from Urban Sensing Data: A Mobile Phone Trace Example, *Transportation research part C: emerging technologies*, 2013, Vol. 26, pp. 301–313.

28. Real Time Rome, *Senseable City Laboratory*. Available at: <http://senseable.mit.edu/realtimerome> (accessed 23 October 2021).

29. Andrienko G., Andrienko N. Spatio-Temporal Aggregation for Visual Analysis of Movements, *Visual Analytics Science and Technology conference*, Columbus, IEEE, 2008, pp. 51–58.

30. Ruslani A., Madjida W.O.Z., Nugroho A.R.S. The Use of Mobile Positioning Data to Obtain Accommodation Statistics: Case Study of Indonesia, *Asia-Pacific economic statistics week 2019*. Bangkok, 2019, 19 p.

31. Versichele M., Neutens T., Goudeseune S., Bossche van F., Weghe V.de.W. Mobile mapping of sporting event spectators using Bluetooth sensors: Tour of Flanders 2011, *Sensors*, 2012, Vol. 12, No. 10, pp. 14196–14213.

32. Football Cup Visitors Analysis, *Habidatum*, 2017. Available at: <https://projects.habidatum.com/#football-cup-visitors-analysis> (accessed 25 October 2021).

33. Badina S.V., Babkin R.A. Otsenka uiazvimosti nalichnogo naseleniia Moskvyy k prirodnyim i tekhnogennym opasnostiam [Assessment of the Vulnerability of the Existing Population of Moscow to Natural and Man-Made Hazards], *InterKarto. InterGIS* [InterKarto. InterGIS], 2021, Vol. 27, No. 4, pp. 184–201. (In Russ.).

34. Babkin R.A., Badina S.V. Analiz uiazvimosti naseleniia Moskvyy k ugrozam prirodno i tekhnogennogo kharaktera (s ispol'zovaniem dannykh sotovykh operatorov) [Analysis of the Vulnerability of the Moscow Population to Natural and Man-Made Threats (Using Data from Cellular Operators)]. *Sistemnoe modelirovanie sotsial'no-ekonomicheskikh protsessov: trudy 44-oi Mezhdunarodnoi nauchnoi shkoly-seminara, g. Voronezh, 4–9 oktiabria 2021 g.* [System Modeling of Socio-Economic Processes: Proceedings of the 44th International Scientific School-Seminar, Voronezh, October 4–9, 2021], edited by V.G. Grebennikova, I.N. Shchepinoy. Voronezh, Istoki, 2021, pp. 190–195. (In Russ.).

35. Badina S.V., Babkin R.A. Otsenka uiazvimosti nalichnogo naseleniia gorodov k prirodnyim i tekhnogennym opasnostiam s ispol'zovaniem dannykh mobil'nykh operatorov [Assessment of the Vulnerability of the Current Population of Cities to Natural and Man-Made Hazards Using the Data of Mobile Operators], *Zakonomernosti formirovaniia i vozdeistviia morskikh, atmosferynykh opasnykh iavlenii i katastrof na pribrezhnuiu zonu RF v usloviakh global'nykh klimaticheskikh i industrial'nykh vyzovov (Opasnye iavleniia – III): materialy III Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* [Patterns of the Formation and Impact of Marine, Atmospheric Hazards and Disasters on the Coastal Zone of the Russian Federation in the Context of Global Climatic and Industrial Challenges (Hazardous phenomena – III): materials of the III International Scientific Conferences]. Rostov-na-Donu, IuNTs RAN, 2021, pp. 325–329. (In Russ.).

PROSPECTS FOR THE USE OF MOBILE OPERATOR DATA IN STUDIES OF NATURAL AND MAN-MADE RISK

The article proposes a conceptual substantiation of the possibility of using the cellular operators data in order to assess the population vulnerability in the natural risk studies. Cellular operators data allow obtaining information on the differentiation of the population vulnerability in a large city (the article provides the case of Moscow) to natural and man-made hazards, taking into account the actual population size and its movement within different time cycles (daily, weekly, seasonal). A reliable information of how many people are at each point of the urban space at a certain point in time will allow not only to timely assess the most likely number of people in the potential danger area, thereby simplifying the work of specialized emergencies services, but also to competently develop a set of preventive measures in accordance with the real need.

Keywords: population vulnerability, natural and man-made risks, Moscow, data of mobile operators.

JEL: O18; R23; J28

Дата поступления – 13.12.2021 г.

БАДИНА Светлана Вадимовна

кандидат географических наук, старший научный сотрудник научной лаборатории «Региональная политика и региональные инвестиционные процессы»;

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова» / Стремянный пер., д. 36, г. Москва, 117997.

e-mail: bad412@yandex.ru

БАБКИН Роман Александрович

кандидат географических наук, старший научный сотрудник научной лаборатории «Региональная политика и региональные инвестиционные процессы»;

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова» / Стремянный пер., д. 36, г. Москва, 117997.

e-mail: babkin_ra@mail.ru

БЕРЕЗНЯЦКИЙ Александр Николаевич

кандидат экономических наук, старший научный сотрудник научной лаборатории «Региональная политика и региональные инвестиционные процессы»;

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова» / Стремянный пер., д. 36, г. Москва, 117997.

e-mail: artandtech@yandex.ru

BADINA Svetlana V.

Cand. Sc. (Geography), Senior Researcher of the Research Laboratory «Regional Policy and Regional Investment Processes»;

Federal State Budgetary Institute of Higher Education Plekhanov Russian University of Economics / 36, Stremyanny Lane, Moscow, 117997.

e-mail: bad412@yandex.ru

BABKIN Roman A.

Cand. Sc. (Geography), Senior Researcher of the Research Laboratory «Regional Policy and Regional Investment Processes»;

Federal State Budgetary Institute of Higher Education Plekhanov Russian University of Economics / 36, Stremyanny Lane, Moscow, 117997.

e-mail: babkin_ra@mail.ru

BEREZNYATSKY Alexander N.

Cand. Sc. (Econ.), Senior Researcher of the Research Laboratory «Regional Policy and Regional Investment Processes»;

Federal State Budgetary Institute of Higher Education Plekhanov Russian University of Economics / 36, Stremyanny Lane, Moscow, 117997.

e-mail: artandtech@yandex.ru

Для цитирования:

Бадина С.В., Бабкин Р.А., Березняцкий А.Н. Перспективы применения данных сотовых операторов в исследованиях природного и техногенного риска // Федерализм. 2021. Т. 26. № 4 (104). С. 111–126. DOI: <http://dx.doi.org/10.21686/2073-1051-2021-4-111-126>