

ГИС-ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНА НА ПРИМЕРЕ ПОДМОСКОВЬЯ*

Шитова Ю.Ю., Шитов Ю.А., Власов Д.Н., Митрошин А.А.,
Митрошин П.А.

Работа посвящена цифровому мониторингу транспортной сети Московской агломерации (МА). Данные собираются при помощи платформ Яндекса (Карты и Пробки), а затем проводится анализ временных и финансовых потерь поездок работников МА. Описана методика сбора, хранения и анализа информации, полученные первые результаты. Обсуждаются перспективы дальнейшей работы.

DOI: 10.20537/mce2020econ13

Введение. Мониторинг транспортной сети региона с применением современных цифровых технологий является актуальным направлением развития современного мегаполиса в рамках концепции «умного города» (smart city). Повышение мобильности населения, качества городской инфраструктуры, качества управления развитием городской среды — одна из горячих тем и важных прикладных задач современной региональной экономики.

Попытки строительства подсистем умного города осуществляются в ведущих городах мира (Барселона, Нью-Йорк, Лондон, Пекин, Москва и др.). Постоянный мониторинг и анализ качества работы транспортной системы региона находится в тренде актуальных научных исследований. Все большее количество объектов системы (публичный и личный транспорт, дороги, мосты, тоннели и т.д.) оснащаются недорогими GPS-приборами регистрации информации (фото и видеорегистраторы), которая, будучи использована в массовом порядке (по технологии Больших Данных), позволит проводить глобальный анализ дорожной ситуации. Если ранее подобные исследования были достаточно дорогими [1, 2], то в будущем их стоимость будет снижаться по мере существенного удешевления конечных регистрирующих устройств. ГИС-технологии были

* Работа поддержана грантом РФФИ № 19-010-00794.

использованы для построения транспортных потоков маятниковых трудовых мигрантов (МТМ) в Нью-Йорке и Амстердаме [3]. ГИС-анализ применялся для оценки корреляции географии бизнеса с уровнями развития территорий и инфраструктуры Индии [4]. Интересным и хорошо проработанным ГИС-исследованием стал анализ экологического влияния на внешнюю среду в зависимости от поездок МТМ, транспортных альтернатив моделей и сценариев движения на основании данных специального транспортного исследования фирмы Vodafone, охватившего 1829 респондентов [5]. Интересен анализ дневных картин поездок работников во Фландрии (полицентричная агломерация на севере Бельгии) [6], где исследовалась разница во времени поездок людей в час пик и вне его, при этом маршруты симулировались в ГИС-программе.

В целом, очевидно, что сбор больших данных о транспортной сети будет только расти. Наконец, главным генератором данных стал смартфон (GPS, который всегда с тобой!). Мобильные операторы связи имеют полную информацию о мобильности пользователей, и эти данные уже используются для научного анализа данных [7].

Таким образом, предлагаемая методика находится в современном русле использования больших данных, полученных онлайн. Она будет подробно обсуждаться далее.

Методика. Исходные данные генерируются платформами Яндекс.Карты и Яндекс.Пробки [8], которые в режиме реального времени рассчитывают заданные пользователем маршруты движения с учетом и без учета состояния транспортной сети (пробок) через API (программный пользовательский интерфейс). Запуская сервис Яндекс.Пробки, пользователь видит состояние транспортной системы только для своего маршрута (см. рис. 1, слева). Задача же нашего проекта – снимать информацию одновременно для тысяч виртуальных пользователей, рассредоточенных по всей территории региона, чтобы оценить ситуацию с транспортной сетью в целом. И, соответственно, оценить макроэкономический эффект пробок для каждого жителя в частности и экономики региона в целом.

Базовая выборка включает в себя набор N виртуальных МТМ с местами проживания (МП) и работы (МР) соответственно, заданными географическими координатами (широта и долгота) на карте (ГИС-координатами). Нет смысла задавать координаты реальных людей (отсюда виртуализация), так как маршрутизатор Яндекс.Карты строит маршрут по **реальным** дорогам между любыми двумя заданными на

карте точками, что нам и требуется. Главное, места проживания и работы виртуальных людей в базовой выборке необходимо выбирать таким образом, чтобы их маршруты дом-работа равномерно покрывали бы транспортную сеть исследуемой территории, например, МКАД (см. рис. 2, справа). Реконструированные маршруты МТМ базовой выборки будут покрывать всю транспортную сеть внутри МКАД и, тем самым, комплексно учитывать ситуацию на дорогах.

Размер базовой выборки — компромисс между точностью и сложностями больших объемов. Главная проблема — платформа Яндекс банит IP пользователя из-за большого числа запросов (принимая его за DDOS-хакера [9]). В итоге размер выборки не должен превышать 20 тысяч человек, при этом необходимо принимать меры для распараллеливания процесса сбора данных.

Фиксированность выборки. Выборка специально фиксируется для набора корректных временных рядов по аналогии с фиксированной выборкой респондентов панельных исследований. Сбор по фиксированному набору позволяет анализировать временную динамику данных, полученных статистическими методами в любом временном масштабе, от минут до лет.

Сбор информации. Для сбора информации используется специально разработанное программное обеспечение (методика разработана нами, РФФИ гранты № 11-06-00323 и № 14-06-00249). Для каждого человека из выборки через API Яндекс.Карт запрашиваются и получаются данные по маршруту дом-работа с учетом и без учета пробок (см. рис. 2). В базе данных сохраняются дата и время маршрутизации, длина маршрута и времена поездки с учетом и без учета пробок. Вызов программы осуществляется ежечасно в автоматическом режиме стандартными средствами операционной системы. Более частый вызов опять же может быть причиной блокировки. Сбор данных ежечасно является разумным компромиссом, поскольку позволяет исследовать состояние дорог с точностью до часа (24 точки в день для оценки динамики).

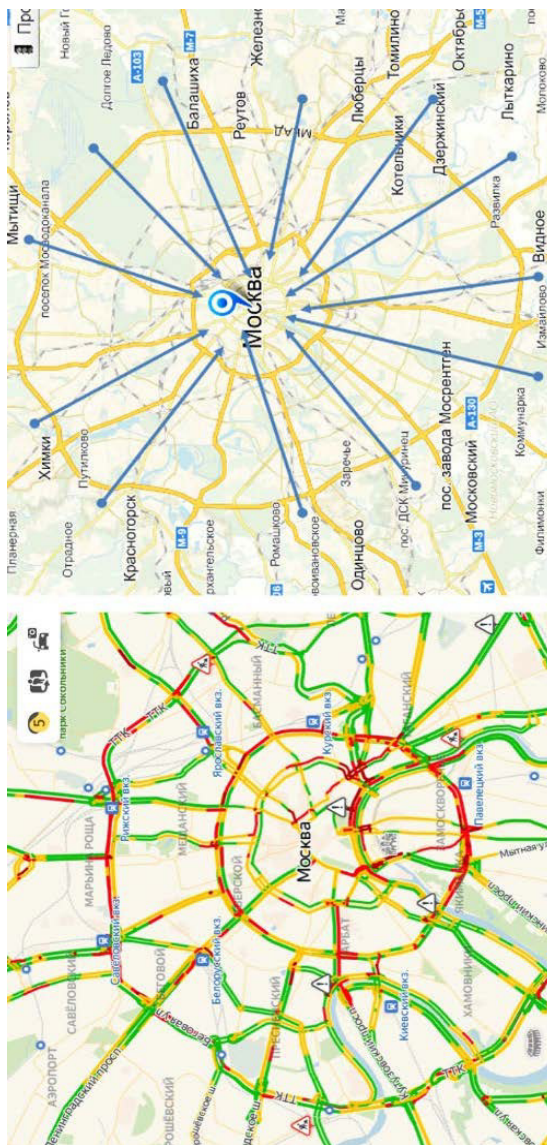


Рис. 1. Слева: интерактивный интерфейс Яндекс.Пробки [10]. Справа: пример выборки МТМ для мониторинга транспортной сети МКАД. МТМ проживают сразу за МКАД и работают в центре Москвы (начало и конец стрелки соответственно для каждого мигранта)

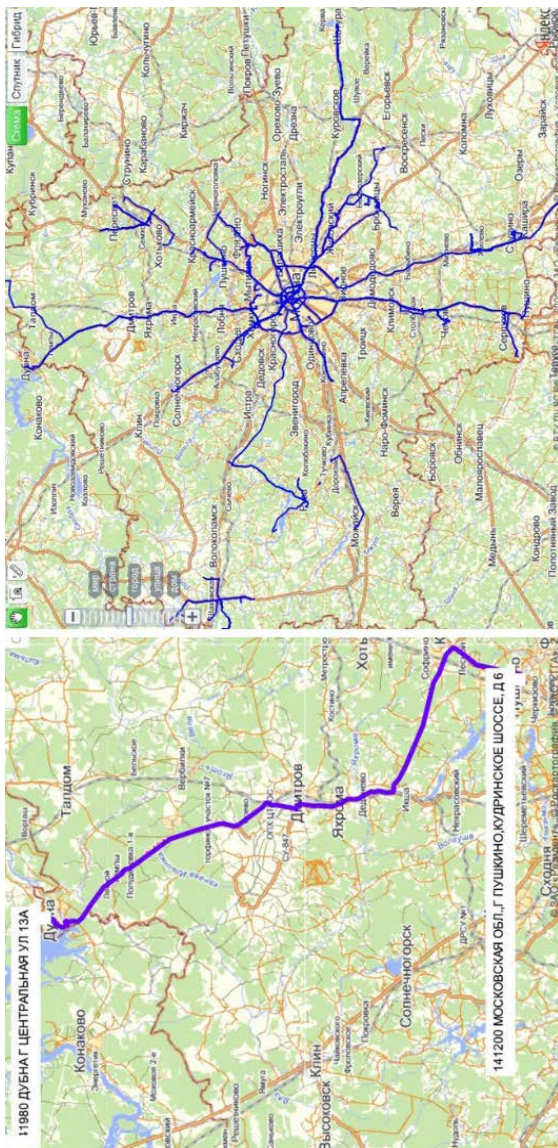


Рис. 2. Построение одного маршрута по адресам жительства и работы (слева), и карта маршрутов дом-работа по небольшой выборке жителей из разных районов МО (справа).

Индикаторы. Собранные данные позволяют производить расчет разнообразных индикаторов. Здесь мы используем самый простой – удельные потери U_I I -тым человеком базовой выборки из N человек, из-за пробок на единицу маршрута:

$$U_I = \frac{T_I^R - T_I^0}{L_I}, \quad I = 1, \dots, N, \quad (1)$$

где T_I^R и T_I^0 — времена с учетом и без учета пробок соответственно, L_I — общая длина маршрута. Далее естественным образом можно использовать агрегацию, в частности, средние временные потери по выборке в j -тый момент времени:

$$\bar{U}(t_j) = \sum_{I=1}^N U_I(t_j). \quad (2)$$

Поскольку базовая выборка фиксирована, то временной ряд показателя (2):

$$\{\bar{U}(t_0), \bar{U}(t_1), \dots, \bar{U}(t_j), \dots\} \quad (3)$$

показывает временную динамику состояния транспортной сети в регионе, покрытой маршрутами базовой выборки.

Наконец, базовая выборка людей может исследоваться не только целиком, но и в разрезе целого ряда переменных:

$$U = f(L, DIR, REG, \dots) \quad (4)$$

где L , DIR — длина и угловое (азимутальное) направление маршрута (по сторонам света по отношению к центру региона), REG — регион проживания и др. Исследование подгрупп базовой выборки дает более детальный мониторинг транспортной сети.

Реализация и результаты. Далее обсуждаются первые результаты разработки и реализации методики, описанной в предыдущем разделе.

Базовая выборка по Московской агломерации была сгенерирована из 20 тыс. жителей Подмосковья, проживающих на расстоянии 20, 50 и 80 км от центра Москвы, заданного ГИС-координатой $S_0 = (55.7520, 37.6166)$ в формате (широта, долгота), а места их работы выбраны в радиусе 5 км от центра Москвы (см. рис. 3). Таким образом, маршруты базовой выборки равномерно покрывают радиальные дороги область-центр в радиусе 80 км от Москвы. При этом мы охватываем три основных типа людей, совершающие короткие, средние и длинные поездки дом-работа в МО, с целью сравнения показателей этих трех групп.

Сбор данных. Накопление данных (по описанной выше процедуре) было запущено в сентябре 2015 года, в данной работе представлены результаты обработки данных, накопленных вплоть до февраля 2019 года — более 500 млн. записей.

Время и потери поездов представлены на рис. 4 для трех исследуемых групп базовой выборки.

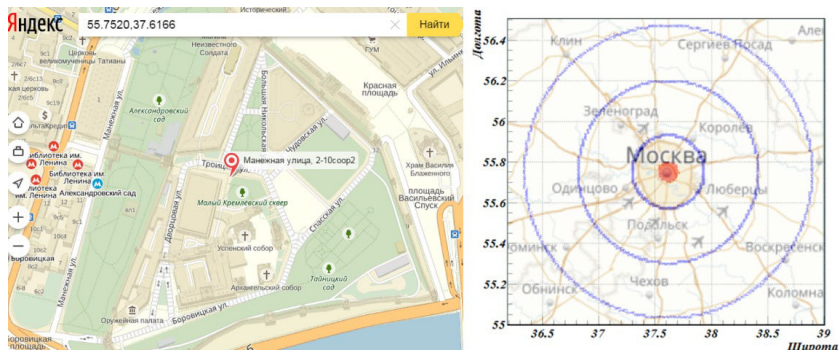


Рис. 3. Слева — центр Москвы с координатой $C_0 = (55.7520, 37.6166)$, принятый в расчетах. Справа — расположение домов (синие концентрические окружности) и мест работы (красное пятно в центре) для работников тестовой базовой выборки в привязке к карте МО.

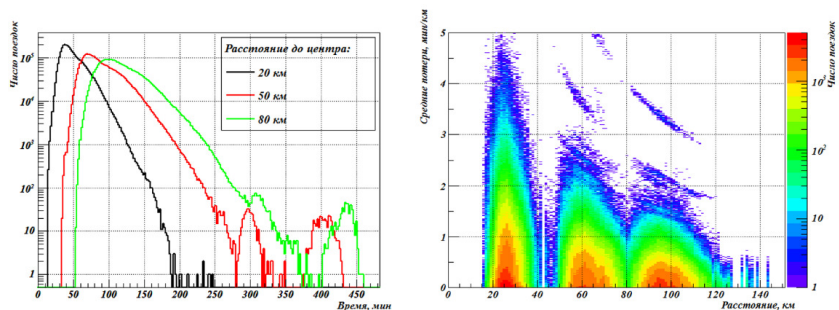


Рис. 4. Слева: время поездок МТМ из выборки (в логарифме), справа: средние потери на их поездки из-за пробок по формуле (1).

Как видно из графиков, что удельные потери у МТМ, едущих на дальние, средние и короткие расстояния соответственно растут, что со-

гласуется с ожиданиями. Наиболее страдают от пробок в плане потерь времени жители, проживающие ближе всего к Москве.

Наконец, средние относительные внутрисдневные потери времени из-за пробок с августа 2018 по март 2019 года показаны на рис. 5. На графике четко видна циклическая недельная структура потерь с заметными перепадами по выходным дням. Кроме этого видно, что волатильность потерь в конце 2018 года была существенно ниже, чем изменения в первые 3 месяца 2019 года.

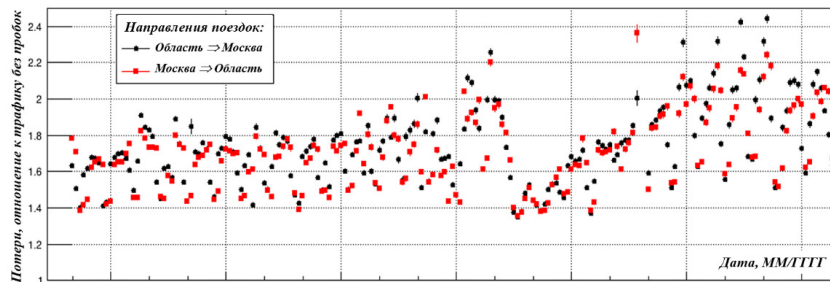


Рис. 5. Средние дневные потери времени из-за пробок.

Заключение. В настоящей работе представлены результаты оригинальной методологии непрерывного ГИС-мониторинга транспортной сети Московской агломерации. Описана методика сбора, накопления, хранения и обработки ГИС-информации, получаемой от онлайн платформ Яндекс-Карты и Яндекс-пробки, а также приведены количественные результаты анализа. Разработан комплекс программного обеспечения, при помощи которого мониторинг транспортной сети осуществляется автоматически в режиме реального времени.

Методика масштабируема, ценность данных растет по мере их накопления. В дальнейшем планируется применение методик Больших Данных для целей прогнозирования. Кроме этого, планируется визуализация и онлайн-мониторинг и автоматическая публикация результатов.

В заключение подчеркнем, что ГИС-анализ транспортных данных является актуальным современным трендом не только научных исследований, но и коммерческих проектов. А данная работа, с его уникальными данными и методикой, находится в тренде, на переднем крае исследований данного научного направления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Zhu, S., & Levinson, D.M.* Do people use the shortest path? An empirical test of Wardrop's first principle // *PLOS ONE*, 2015.
DOI:10.1371/journal.pone.0134322.
2. *Scharenbroich, M., Iacono, M., & Levinson, D.M.* How local is travel? // *SSRN Electronic Journal*. 2009. DOI:10.2139/ssrn.1736090.
3. *Arribas-Bel D., Gerritse M.* Featured graphic. Monocentricity? Commuting flows visually // *Environment and Planning A*. 2012. Vol.44. P. 2041-2042.
DOI:10.1068/a44561
4. *Vaz E.* Spatial Business Landscape of India // *Journal of Spatial and Organizational Dynamics*. 2013. Vol. 1(4). P. 241–253.
5. *Wood G.* Modelling the ecological footprint of green travel plans using GIS and network analysis: from metaphor to management tool? // *Environment and Planning B: Planning and Design*. 2003. Vol.30. P. 523-540.
6. *Dalton A.M. et al.* Are GIS-modelled routes a useful proxy for the actual routes followed by commuters? // *Journal of Transport & Health*. 2015. Vol.2. P. 219–229. DOI: 10.1016/j.jth.2014.10.001.
7. *Махрова А.Г., Кириллов П.Л., Бочкарев А.Н.* Маятниковые трудовые миграции населения в московской агломерации: опыт оценок потоков с использованием данных сотовых операторов. // *Региональные исследования*. 2016. № 3 (53). С. 71–82.
8. Яндекс-Карты. URL: <https://yandex.ru/maps>
9. *Иванов О.* Что собой представляет DDoS-атака // Anti-malware блог, 8.12.2017. URL: https://www.anti-malware.ru/analytics/Threats_Analysis/what-is-a-ddos-attack
10. Яндекс-Пробки. URL: <http://maps.yandex.ru/traffic>

GIS TECHNOLOGIES FOR MONITORING THE REGION'S TRANSPORT SYSTEM: THE CASE OF THE MOSCOW REGION

Shitova Yu.Yu., Shitov Yu.A., Vlasov D.N., Mitroshin A.A., Mitroshin P.A.

The work is devoted to digital monitoring of the transport network of the Moscow agglomeration (MA). Data is collected using Yandex platforms (Yandex.Maps and Yandex.Traffic), and then an analysis of the temporary and financial losses of travel of commuters is carried out. The technique of collecting, storing and analyzing information as well as the first results obtained are presented. Prospects for further work are also discussed.