

Карты и ГИС в социально-демографических исследованиях

Maps and GIS in socio-demographic research

УДК: 912.4, 911.3:33

DOI: 10.35595/2414-9179-2024-2-30-309-326

А. Н. Березняцкий¹, С. В. Бадина², Р. А. Бабкин³

АНАЛИЗ ЦИКЛИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ СОТОВЫХ ОПЕРАТОРОВ

АННОТАЦИЯ

В работе рассматривается динамика численности населения города Москвы с точки зрения формирования разнообразных циклических колебаний. Для анализа явлений используется обширный массив данных о положении абонентов операторов сотовой сети связи на территории города с временным тактом в 30 мин за 2018–2019 гг. Наличие данных о численности населения города столь высокой частоты актуализации позволило получить уникальную информацию о закономерностях движения населения города, численно охарактеризовать качественные результаты хроногеографии и понятия социального времени. На основании проведенного анализа построена модель движения населения города, состоящая из трендовой компоненты, вокруг которой происходят колебания различного характера. Выявлен квазицикл, связанный со сменой времен года, суточный цикл, недельный цикл, а также цикличность суточного градиента, связанного с временами года. При этом наблюдаются дисбалансы в циклах, связанные с наличием праздничных дней. В основе используемой методологии лежит метод эмпирической модовой декомпозиции EMD, нелинейный регрессионный анализ. Декомпозиция суточного пульсационного ряда с выделением градиентов и трендов изменений между ночными и дневными часами на примере районов Москвы позволила выделить восемь хронотипов районов: «классические аттракторы», «платообразные аттракторы», «аттракторы-жаворонки», «аттракторы-совы», «классические спальни», «транзитные спальни», «спорадические аттракторы» и «спальни-аттракторы», отражающие функциональные роли муниципальных образований и особенности их положения в системе внутригородской мобильности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: динамика населения, циклы, социальное время, данные сотовых операторов, Москва

¹ ФГБУН Центральный экономико-математический институт РАН, Нахимовский пр-т, д. 47, Москва, Россия, 117418, e-mail: artandtech@yandex.ru

² МГУ имени М. В. Ломоносова, географический факультет, НИЛ геоэкологии Севера, Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119991; Университет Бернардо О'Хиггинса, Сантьяго, Чили, проспект Визель, 1497, e-mail: bad412@yandex.ru

³ ФГБОУ ВО РЭУ имени Г. В. Плеханова, лаборатория Региональной политики и региональных инвестиционных процессов, Стремянный пер., д. 36, Москва, Россия, 117997, e-mail: babkin_ra@mail.ru

Alexander N. Berezhnyatskiy¹, Svetlana V. Badina², Roman A. Babkin³

ANALYSIS OF THE CYCLICAL MOVEMENT OF THE POPULATION OF THE CITY OF MOSCOW BASED ON DATA FROM MOBILE OPERATORS

ABSTRACT

The paper examines the dynamics of the population of the city of Moscow from the point of view of the formation of various cyclical fluctuations. To analyze the phenomena, an extensive data set is used on the position of subscribers of mobile operators in the city with a time frame of 30 minutes for 2018–2019. The availability of data on the population of the city with such a high frequency of updating allowed us to obtain unique information about the patterns of movement of the city's population, numerically characterize the qualitative results of chronogeography and the concept of social time. Based on the analysis, a model of the movement of the city's population is developed, consisting of a trend around which fluctuations of various types occur. The quasi-cycle associated with the change of seasons, the daily cycle, the weekly cycle, as well as the cyclicity of the daily gradient associated with the seasons are revealed. At the same time, there are disturbances in cycles associated with the presence of holidays. The methodology used is based on the method of empirical mode decomposition EMD, nonlinear regression analysis. The decomposition of the daily pulsation series into gradients and trends of changes between night and daytime hours on the example of Moscow districts allowed us to identify eight chronotypes of districts: "classic attractors", "plateaued attractors", "lark attractors", "owl attractors", "classic bedrooms", "transit bedrooms", "sporadic attractors" and "bedroom-attractors" reflecting the functional roles of municipalities and the peculiarities of their position in the system of intra-urban mobility.

KEYWORDS: population dynamics, cycles, social time, mobile operator's data, Moscow

ВВЕДЕНИЕ

Теория циклов, зародившаяся в недрах экономической науки, стала яркой попыткой объяснения повторяющихся изменений рыночной конъюнктуры. Изучению разновременных конъюнктурных циклов посвящены работы многих экономистов: В. Зомбарта, Н. Д. Кондратьева, Й. Шумпетера, К. Жюльера, С. Кузнецца, Ю. В. Яковца и др. [Избранные труды..., 2010]. Именно из экономики изучение цикличности пришло в экономическую географию, включив в область своих интересов социальную составляющую общественной жизни. В современных экономико-географических исследованиях рассмотрению разнообразных циклов, аспектов циклического развития и их пространственной проекции уделяется большое внимание. Широко исследуются циклы урбанизации, цикличность регионального развития, общеэкономические циклы и циклы в отдельных отраслях, их обусловленность природными циклами (сельскохозяйственные циклы, циклы в лесном хозяйстве, циклы в энергетике и др.), электоральные и инновационные циклы и пр. Особое место при этом занимают работы, связанные с изучением циклической природы демографической динамики [Бабурин и др., 2007].

Можно отметить многочисленные работы по выделению стадий урбанизации Д. Джиббса, Л. Клаассена, Г. Шимени, Х. Гейера и Т. Контули [Gibbs, 1963; Klaassen,

¹ Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, 47, Nakhimovsky ave., Moscow, 117418, Russia, *e-mail*: artandtech@yandex.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 1, Leninskie Gory, Moscow, Russia, 119991; Bernardo O'Higgins University, Avenida Viel, 1497, Santiago, Chile), *e-mail*: bad412@yandex.ru

³ Plekhanov Russian University of Economics, Laboratory of Regional Policy and Regional Investment Processes, 36, Stremyanny ln., Moscow, 117997, Russia, *e-mail*: babkin_ra@mail.ru

Scimeni, 1981; *Geyer, Kontuly*, 1993]. Среди экономико-географов, занимающихся исследованиями социально-экономических циклов, стоит выделить работы В. Л. Бабурина, в т. ч. интегрирующие теории циклов с идеями Т. Хегерстранда [*Бабурин, Горячко*, 2004; *Бабурин*, 2011].

Другим аспектом исследований цикличности стало изучение динамики систем расселения. Так, маятниковым трудовым миграциям (МТМ) и связанным с ними суточным пульсациям численности населения в отечественной науке посвящены работы В. Г. Давидовича, Б. С. Хорева, Н. В. Петрова, А. Г. Махровой, П. Л. Кириллова, Ю. Ю. Шитовой, А.Н. Махровой и др. [*Хорев и др.*, 1970; *Давидович*, 1971; *Пространственно...*, 1988; *Шитова*, 2009; *Махрова и др.*, 2016].

Сезонность — еще одно из популярных в географической науке направлений исследований цикличности. Сезонности посвящены работы Т. Г. Нефедовой, А. Г. Махровой, Л. Б. Карачуриной, П. Л. Кириллова и др. [*Карачурина*, 2013; *Махрова, Кириллов*, 2015; *Нефедова, Махрова*, 2015]. Наиболее комплексный взгляд на влияние сезонности на системы расселения представлен в кандидатской диссертации Д. Ю. Землянского [2011].

Между суточной и сезонной цикличностью находится третий основной тип цикличности, связанный с жизнедеятельностью общества — недельный. Еще в середине 1970-х гг. И. М. Маергойз и Г. М. Лаппо говорили о необходимости при анализе городских агломераций ориентироваться именно на недельные, а не суточные циклы [*Лаппо, Маергойз*, 1974]. Недельные ритмы жизнедеятельности рассматривались Т. Г. Нефедовой в качестве частного случая отходничества — «полуотхода-полумаятника», широко распространенного в Московской области и сопредельных с ней регионах [*Нефедова*, 2015].

При этом до недавнего времени практически отсутствовали масштабные количественные исследования циклического движения населения в высоком пространственном и временном разрешении (на уровне городов, отдельных городских районов, с рассмотрением коротких (недельных и суточных) циклов). Появление новых видов больших данных — данных сотовых операторов — позволяет отслеживать мельчайшие флуктуации в городских системах, открыло возможности перехода от эвристических методов оценки, в основе которых лежит экспертное выявление и анализ циклических процессов без использования статистической информации, к более строгим математическим методам (например, [*Babkin et al.*, 2023; *Deville et al.*, 2014]). По [*Бабурин и др.*, 2007], в общем виде все городские циклы можно подразделить на пульсирующие и эволюционные, все они имеют четкую территориальную проекцию. Первые связаны с суточными, недельными и сезонными циклами, вторые — с долгосрочным развитием города в пространстве и времени (циклы урбанизации).

Согласно предшествующим исследованиям, движение населения в городах и городских агломерациях на постсоветском пространстве, в т. ч. и в Москве, подчиняется ярко выраженным суточным и сезонным циклам [*Пространственно-временной...*, 1998; *Землянский*, 2011; *Махрова, Кириллов*, 2015]. В первую очередь суточные и недельные циклы подчинены маятниковой трудовой миграции, обусловленной неравномерностью распределения в городском пространстве мест проживания и работы. Результатом этого стало формирование функционального разделения между различными городскими территориями: возникают муниципалитеты с преобладанием жилых, административно-деловых и прочих функций. Недельный и сезонный циклы в значительной степени связаны с развитием дачно-рекреационных функций на прилегающих территориях.

Напрямую связанной с проблематикой циклического движения населения внутри городского пространства на коротких временных промежутках является концептуальная категория «социального времени», принадлежащая к понятийному аппарату хроногеографии (географической дисциплины, изучающей пространственно-временные траектории

жизни отдельных людей на протяжении различных отрезков времени). В широком смысле социальное время есть время реализации различных общественных функций, отличное от стандартного астрономического времени (различные аспекты исследовались, например, в работах [Старикова, Демидова, 2019; Sorokin, Merton, 1937; May, Thrift, 2001; Ellegard, 2019; Но, 2021]). В предыдущей работе авторов предпринималась попытка рассмотрения суточного движения населения Москвы в контексте социального времени, типологизация районов города на основании выявленных закономерностей [Babkin et al., 2023].

В настоящее время наблюдается наивысшая за всю историю дивергенция типов трудового поведения. Наряду с активным движением населения в рамках ежедневных трудовых корреспонденций расширяется практика удлинённых трудовых циклов (отходничество и полутходничество). С другой стороны, все большее число граждан работает на дому или вблизи от дома, расширяется гибридный формат работы и мобильная занятость. В связи с этим пространственная интерпретация мобильности становится чрезвычайно сложной.

Целью настоящего исследования является построение модели движения населения г. Москвы с акцентом на его циклические колебания, количественная и качественная характеристика выявленных циклов, сопоставление обнаруженных закономерностей с продемонстрированными ранее в научной литературе.

Понимание выявленных в данном исследовании циклических закономерностей движения наличного населения Москвы имеет значительную практическую ценность, открывая возможность с помощью разработанной модели прогнозировать состояние системы расселения Москвы в зависимости от фазы определенного цикла. Это может быть полезным с точки зрения управления и регулирования различных процессов в городской системе: снижение пиковых нагрузок на инфраструктуру, повышение безопасности населения в случае возникновения природных и техногенных катастроф, оптимизации транспортных потоков и функционального зонирования городского пространства и пр. Поскольку представленные в исследовании результаты подтверждают эффективность действия модели на общегородском уровне путем сопоставления модельных значений с эмпирическими данными, то доказываемая возможность ее эффективного применения на более низких уровнях административно-территориального деления (уровень административных округов и районов Москвы) при условии соответствующей калибровки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование основано на обезличенных данных сотовых операторов о местах локализации абонентов за 2018–2019 гг., предоставленных Департаментом информационных технологий г. Москвы. Размер необработанных данных составляет 2,5 Тбайт, количество строк в таблице — около 10^{10} . Данные представляют собой информацию о местонахождении мобильных абонентов на территории г. Москвы в течение суток (измерения осуществлены по ячейкам площадью 500 м^2 с временным тактом 30 мин), полученную в результате измерения местоположения мобильного телефона относительно трех станций сотовой связи. Число ячеек — 10 тыс. Каждая ячейка характеризуется отметкой времени, уникальным идентификатором, характеризующим ее принадлежность к конкретной территории, количеством входящих подписчиков и идентификатором исходящей ячейки. Специалистами департамента произведена первичная обработка данных: анонимизация и очистка исходной выборки от сигналов модемов, планшетов и телефонов с двумя и более SIM-картами. Подробнее об особенностях исходной базы данных, преимуществах и ограничениях использования данных сотовых операторов, ключевых принципах их первичной обработки и калибровки подробно изложено в предыдущих работах авторов (например, [Badina et al., 2022]).

В основе используемой методологии лежит *нелинейный регрессионный анализ* и *метод эмпирической модовой декомпозиции EMD* [Huang et al., 1998]. При использовании нелинейного регрессионного анализа подразумевается известный общий вид модели, параметры которой калибруются по имеющемуся массиву данных. Метод EMD представляет собой итерационную процедуру определения компонент исходного сигнала — временного ряда, при этом не требуется наличие информации о виде модели. Нелинейный регрессионный анализ используется для построения низкочастотной модели — сезонного движения населения. Метод EMD применяется для декомпозиции компонент высокочастотного цикла — недельного, суточного и т. п.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлен график динамики наличного населения Москвы, сформированный по генеральной совокупности данных за рассматриваемый период с временным тактом в 30 мин. Он демонстрирует наличие ярко выраженной циклической компоненты в движении населения г. Москвы; при этом напрашивается вывод о присутствии трендовой составляющей в динамике (синусоида направлена вверх). Помимо базовой синусоиды наблюдаются также колебания вокруг нее с более высокой частотой.

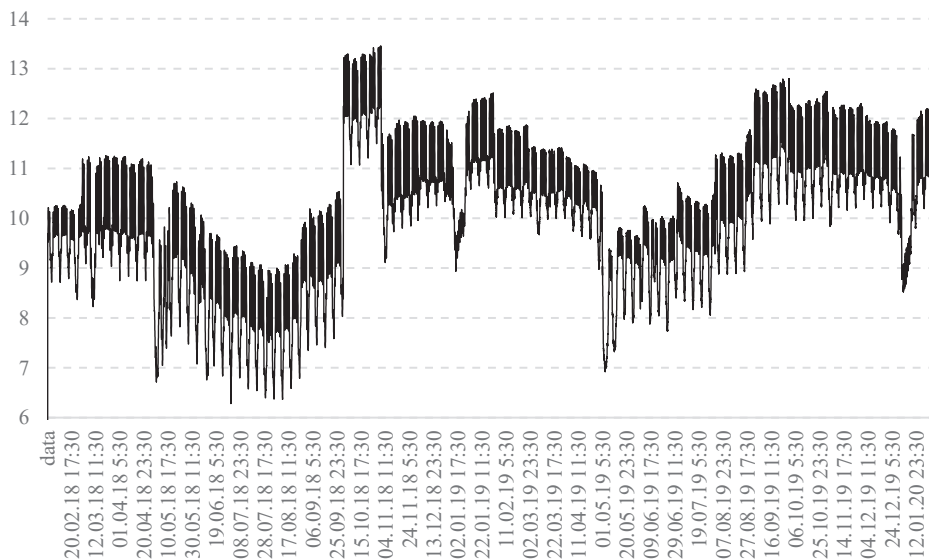


Рис. 1. Численность наличного населения г. Москвы 2018–2019 гг.
с тактом в 30 мин, млн. чел.¹

Fig. 1. The number of the observed population of the city of Moscow 2018–2019
with a time frame of 30 min, mln people

График также демонстрирует ярко выраженные выбросы, связанные с праздничными днями, а также, с высокой степенью вероятности — с ошибками формирования выборки данных.

Далее последовательно описываются компоненты, формирующие динамику населения города, с соблюдением двух основных методических принципов:

¹ Источник: расчеты авторов на основе данных сотовых операторов. Далее в статье источник графической информации и расчетов считается аналогичным, если не указано обратное

- не допустить переобучение модели (принцип минимализма при выборе числа циклических компонент);
- учет содержательной интерпретации наблюдаемого цикла с точки зрения социального времени жизни города.

В итоге была сформирована общая модель движения населения Москвы, неизвестные параметры которой там, где это возможно, получили количественную оценку.

1. Базовый низкочастотный цикл и трендовая компонента (цикл смены времен года)

Предполагается, что базовый низкочастотный цикл описывается моделью вида (1):

$$Pop_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \beta \sin(\omega t) + \varepsilon_t \quad (1),$$

где Pop_t — численность наличного населения Москвы в период t ,

$\alpha_0 + \alpha_1 t$ — линейный тренд в численности населения города,

$\beta \sin(\omega t)$ — низкочастотная компонента цикла,

ε_t — необъясненный остаток, содержащий, в частности, другие периодические компоненты.

Оценивалось два варианта модели — с учетом выбросов и без выбросов. Оценки параметров проводились на трех периодах: 2018 г. (рис. 3), 2019 (рис. 2) и объединенный, 2018–2019 гг. (рис. 4) с целью анализа устойчивости полученного результата.

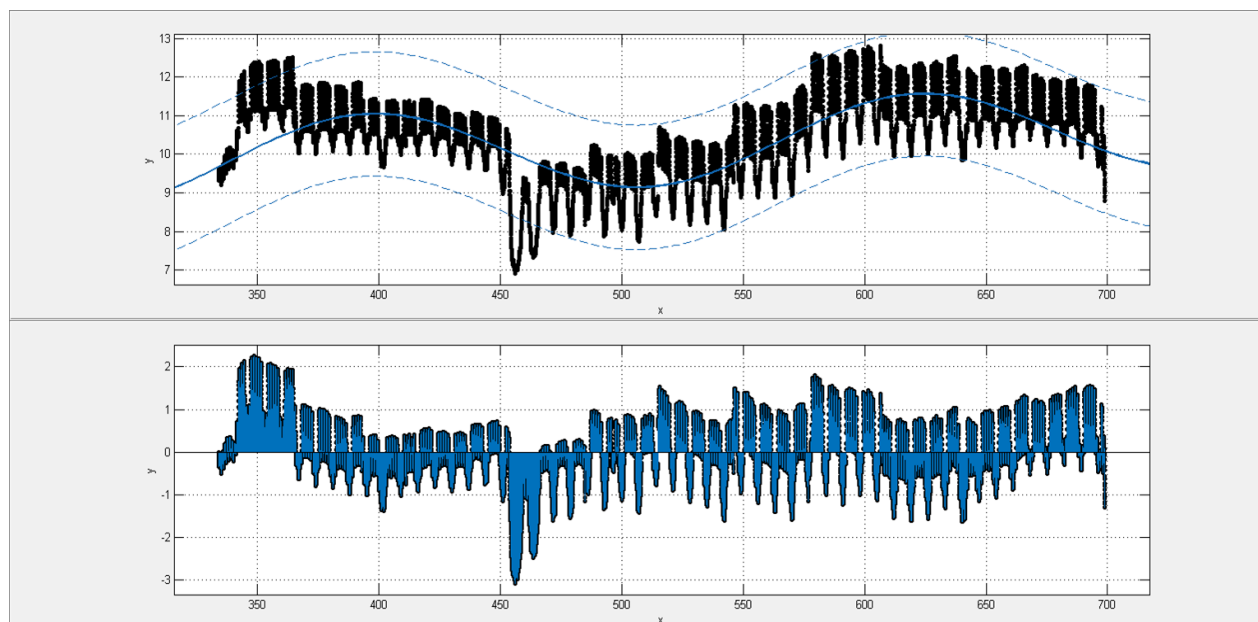


Рис. 2. Тренд и низкочастотная компонента цикла движения населения г. Москвы для 2019 г. Указана граница 95 % доверительного интервала.

Нижний график — остатки модели

Fig. 2. Trend and low-frequency component of the Moscow population cycle for 2019.

The boundary of the 95 % confidence interval is indicated.

The lower graph shows the residuals of the model

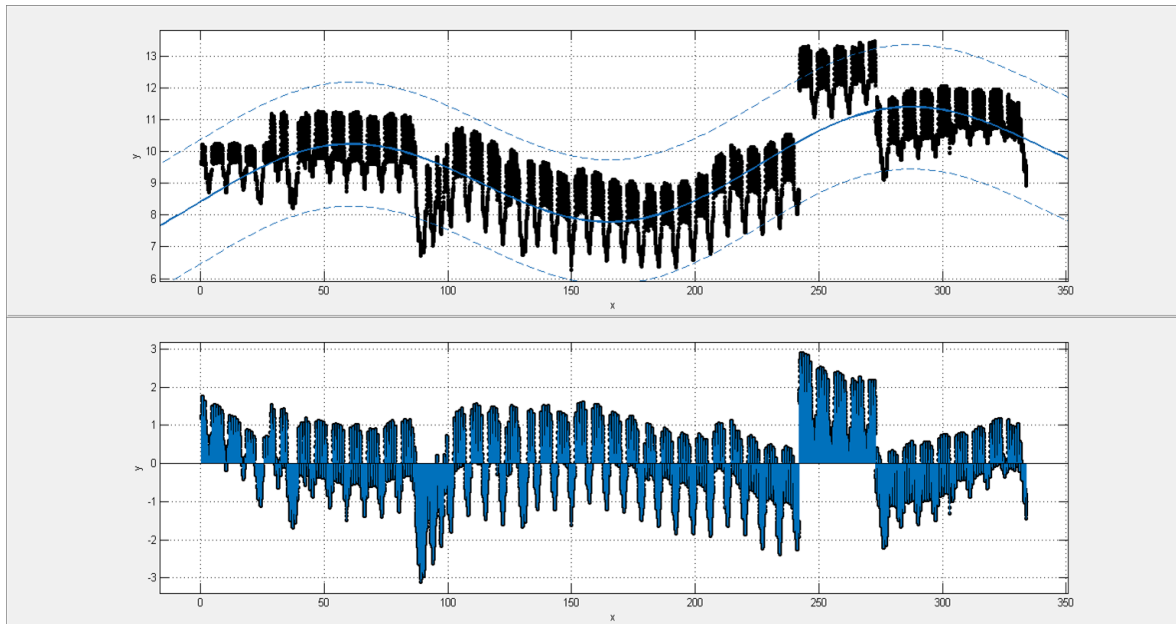


Рис. 3. Тренд и низкочастотная компонента цикла движения населения г. Москвы для 2018 г. Указана граница 95 % доверительного интервала.

Нижний график — остатки модели

Fig. 3. Trend and low-frequency component of the Moscow population cycle for 2018.

The boundary of the 95 % confidence interval is indicated.

The lower graph shows the residuals of the model

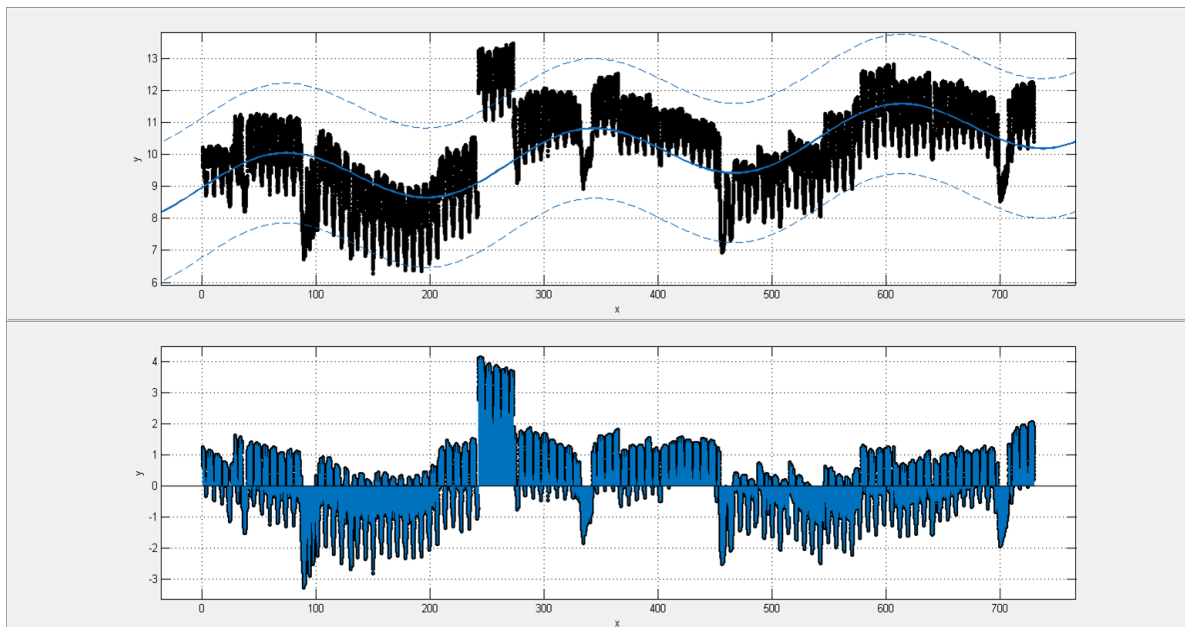


Рис. 4. Тренд и низкочастотная компонента цикла движения населения г. Москвы для 2018–2019 гг. Указана граница 95 % доверительного интервала.

Нижний график — остатки модели

Fig. 4. Trend and low-frequency component of the Moscow population cycle for 2018–2019.

The boundary of the 95 % confidence interval is indicated.

The lower graph shows the residuals of the model

Табл. 1. Параметры модели для тренда и низкочастотной периодической составляющей
Table 1. Model parameters for trend and low-frequency periodic component

	С выбросами			Без выбросов		
Год→ Модель↓	2018	2019	2018–2019	2018	2019	2018–2019
α_0	8,421	9,053	8,959	8,696	9,025	8,826
α_1	0,005167	0,002302	0,002843	0,003007	0,002444	0,002902
β	1,504	–1,077	0,8804	1,353	–1,005	1,03
ω	0,02777778	0,02777778	0,02325581	0,02777778	0,02777778	0,02173913
R^2	0,5676	0,4476	0,3442	0,5911	0,5085	0,5441

Результаты, представленные на графиках (рис. 2–4), а также в табл. 1, демонстрируют наличие квазицикла (не совпадают с достаточной точностью периоды для 2018 и 2019 гг. в рамках единой модели) низкой частоты для движения населения города (см. также рис. 5).

Анализ остатков моделей показывает также, что присутствуют неустраненные циклы более высоких частот в данных. Далее описываются эти компоненты модели.

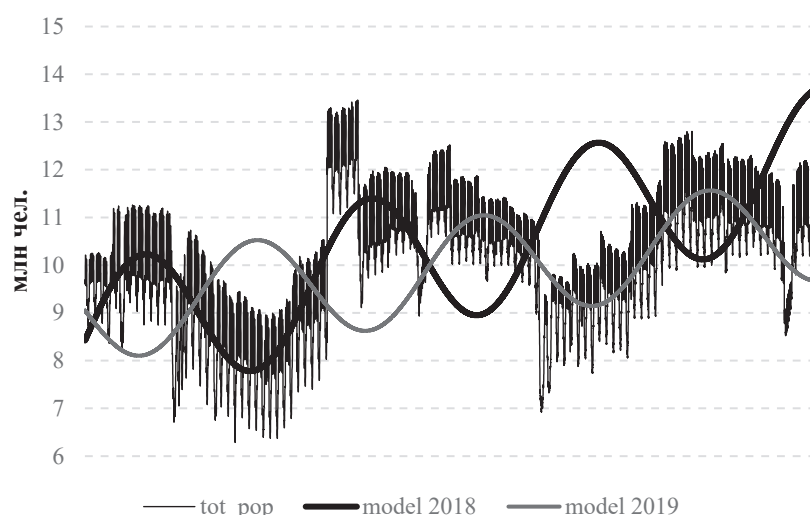


Рис. 5. Наблюдаемые данные о численности населения Москвы
в сравнении с модельными значениями, млн чел.

Fig. 5. Observed versus model data of the population of Moscow, million people

2. Высокочастотные циклы (недельный, суточный)

На рис. 6 представлен фрагмент данных (семь недель) по динамике численности наличного населения г. Москвы. Небольшой фрагмент данных позволяет отвлечься от низкочастотных компонент цикла и тренда и сфокусироваться на циклах высокой частоты. Для выделения компонент высокочастотного цикла (мод) была использован алгоритм EMD в среде R. Визуализация результата приведена ниже на рис. 7.

Недельный цикл представляет собой 5 (5 IMF) моду на рис. 7. Происходит рост населения города с начала недели до середины и спад к окончанию недели, при этом наблюдается также промежуточный цикл, связанный с ростом численности населения ко вторнику, небольшим спадом в среду и возвратом к уровням вторника в четверг (4 IMF 4

мода). IMF 4 мода, возможно, связана с воздействием рабочих мест с графиком занятости 3 через 3 дня. Остальные моды отражают суточное движение населения и циклы выходного дня. IMF 6 мода представляет остаточную компоненту — случайный остаток декомпозиции.

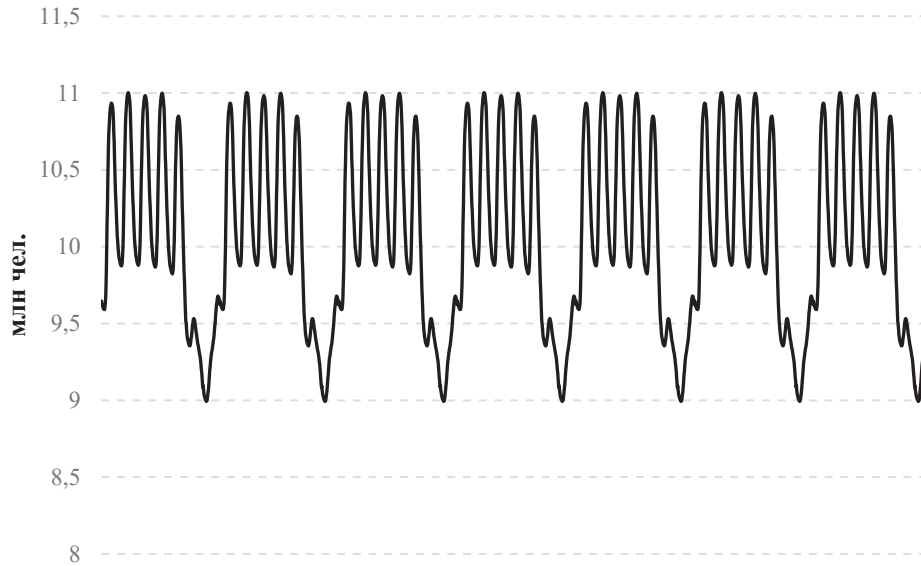


Рис. 6. Фрагмент данных по движению населения г. Москвы, отражающий суточные и недельные циклы, млн чел.

Fig. 6. A sample of data on the movement of the population of the city of Moscow demonstrating daily and weekly cycles, million people

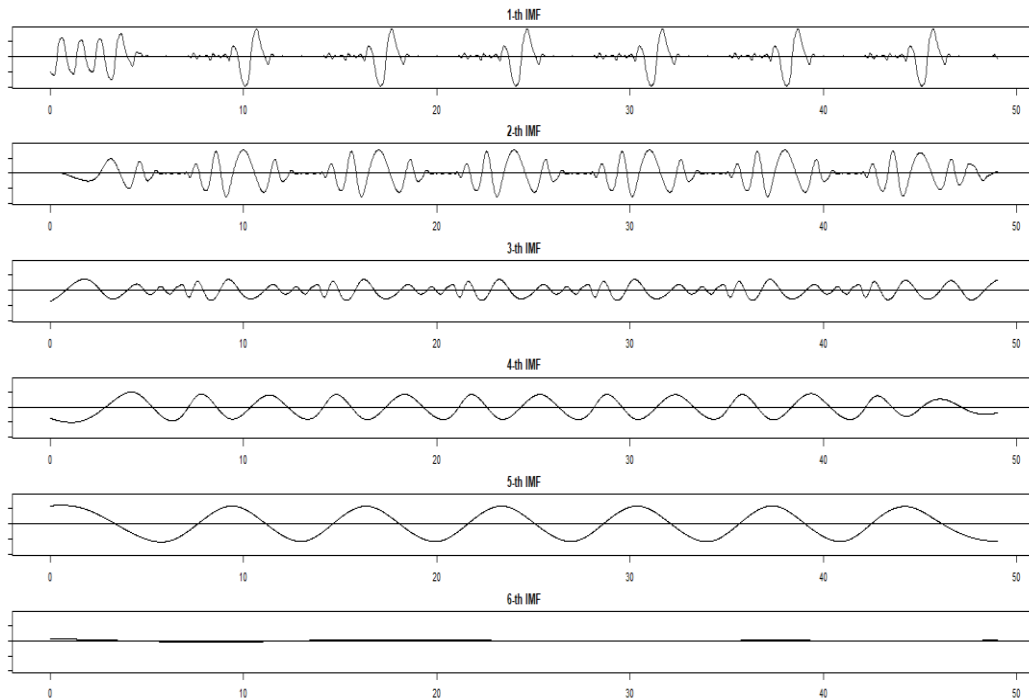


Рис. 7. Эмпирические моды, выявленные с помощью алгоритма EMD, для данных о движении населения Москвы в суточно-недельном разрезе

Fig. 7. Empirical modes identified with the EMD algorithm for data on the movement of the Moscow population in a daily-weekly term

В праздничные дни происходит сбой в работе продемонстрированного цикла, что представлено на рис. 8. Цикл выходного дня замещает цикл, наблюдаемый для рабочих дней: снижается амплитуда колебаний численности населения в течение суток.

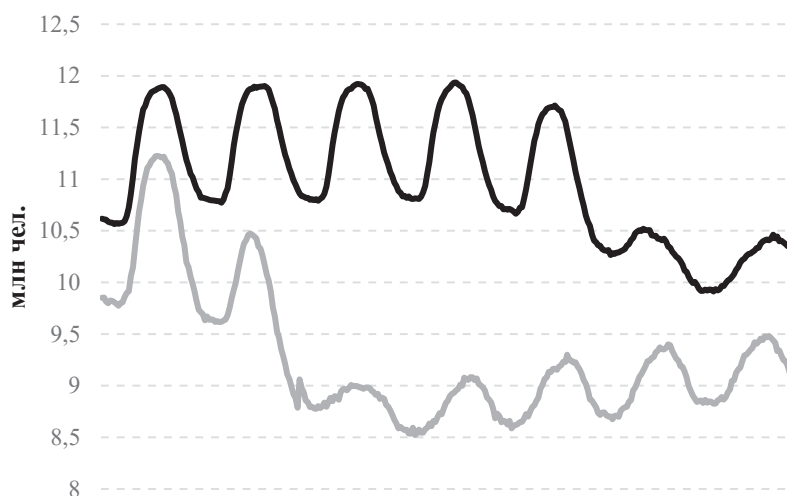


Рис. 8. Сбой в работе суточно-недельного цикла движения населения города Москвы в январские праздничные дни, млн чел.
Черный график — стандартный цикл, серый — праздничные дни
Fig. 8. Malfunction of the daily-weekly cycle of movement of the population of the city of Moscow during the January holidays, million people.
The black chart is the standard cycle, the gray one is during the holidays

3. Зависимость амплитуды суточного цикла от времени года

На рис. 9 представлены изменения численности населения города в % одного периода (30 мин.) к соответствующему периоду следующих суток. Как видно, с весны суточные колебания населения возрастают. Этот феномен, по всей видимости, связан с началом активного использования жителями Москвы дачного жилья. С целью проверки статистической устойчивости этого явления была построена регрессия значений указанного индекса для 2019 г. в зависимости от 2018 г. Результаты представлены ниже (рис. 10 и табл. 2). Статистическое тестирование полностью подтверждают устойчивость наблюдаемой тенденции.

Табл. 2. Параметры модели-теста для суточных градиентов 2018 и 2019 гг.
(зависимая переменная — индекс суточных изменений численности населения для 2019 г.)
Table 2. Parameters of the test model for the daily gradients of 2018 and 2019 (dependent variable is the index of daily population changes for 2019)

Переменная	Оценка коэффициента	Стандартная ошибка	t-статистика	Уровень значимости
Константа	41,3	0,42	97,5	***
Индекс суточных изменений численности населения для 2018 г.	0,59	0,004	140	***
R² = 0,55				
Количество наблюдений: 15936				

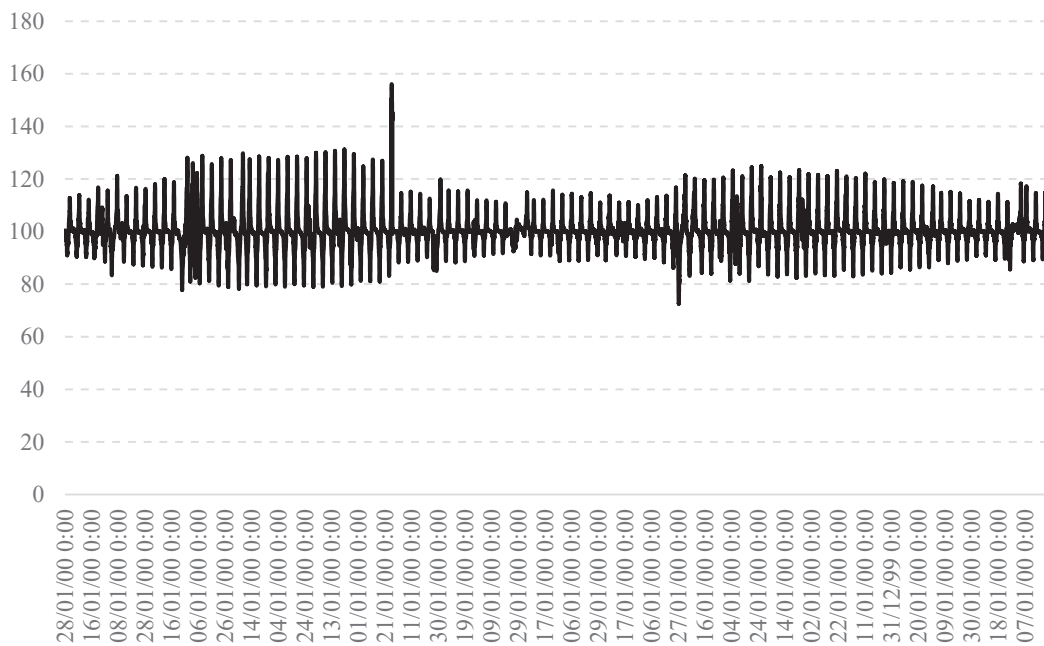


Рис. 9. Зависимость суточного градиента от времени года, %
Fig. 9. The dependence of the daily gradient on the time of year, %

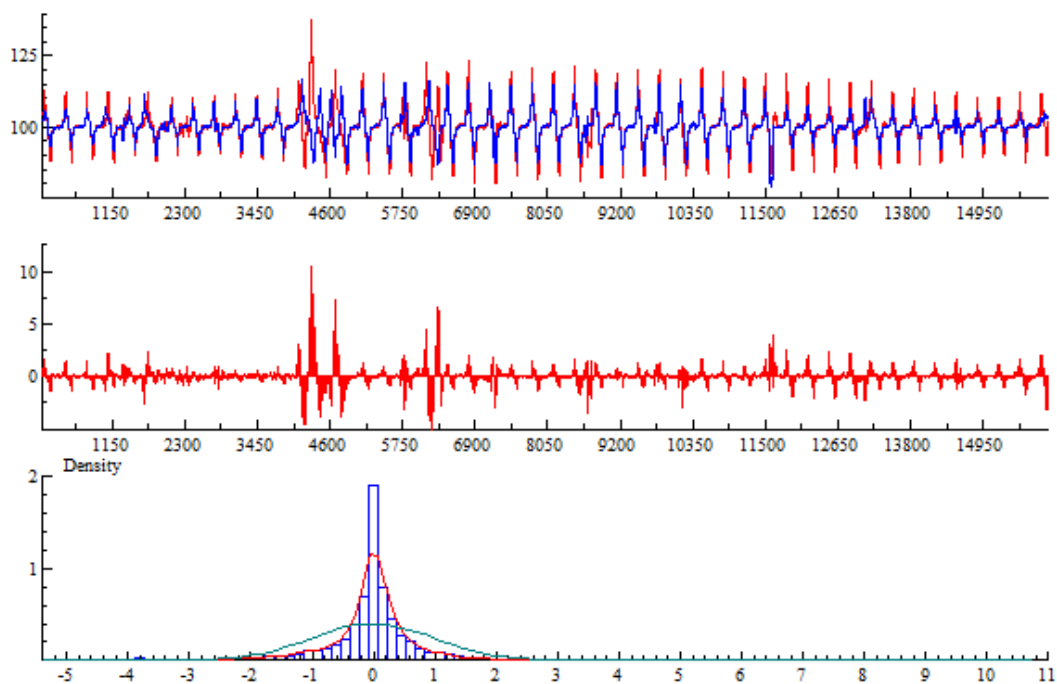


Рис. 10. Результаты тестирования согласованности динамики суточных градиентов для двух периодов — 2018 и 2019 гг. Синий график — расчетный, средний — остатки, нижний — гистограмма остатков
Fig. 10. The results of testing the consistency of the dynamics of daily gradients for two periods — 2018 and 2019. The blue graph is the calculated one, the middle one is the residuals, the lower one is the histogram of the residuals

4. Выделение хронотипов районов Москвы на основе анализа суточного цикла

На основе анализа суточного цикла динамики были выявлены хронотипы районов Москвы. Типологизация производилась по двум характеристикам. Первая оценивала общий характер изменения численности населения в районе в течение суток. В зависимости от этого выделены районы-аттракторы (с превышением дневного населения над ночным), районы-спальни (с превышением ночного населения над дневным) и спальни-аттракторы (с разнообразными трендами в течение суток). Вторым фактором оценки стали внутрисуточные тренды изменения численности населения. В результате были выделены 8 подтипов районов, характеризующих специфику положения районов в системе внутригородской мобильности и являющихся проекцией их функциональной роли (рис. 11).

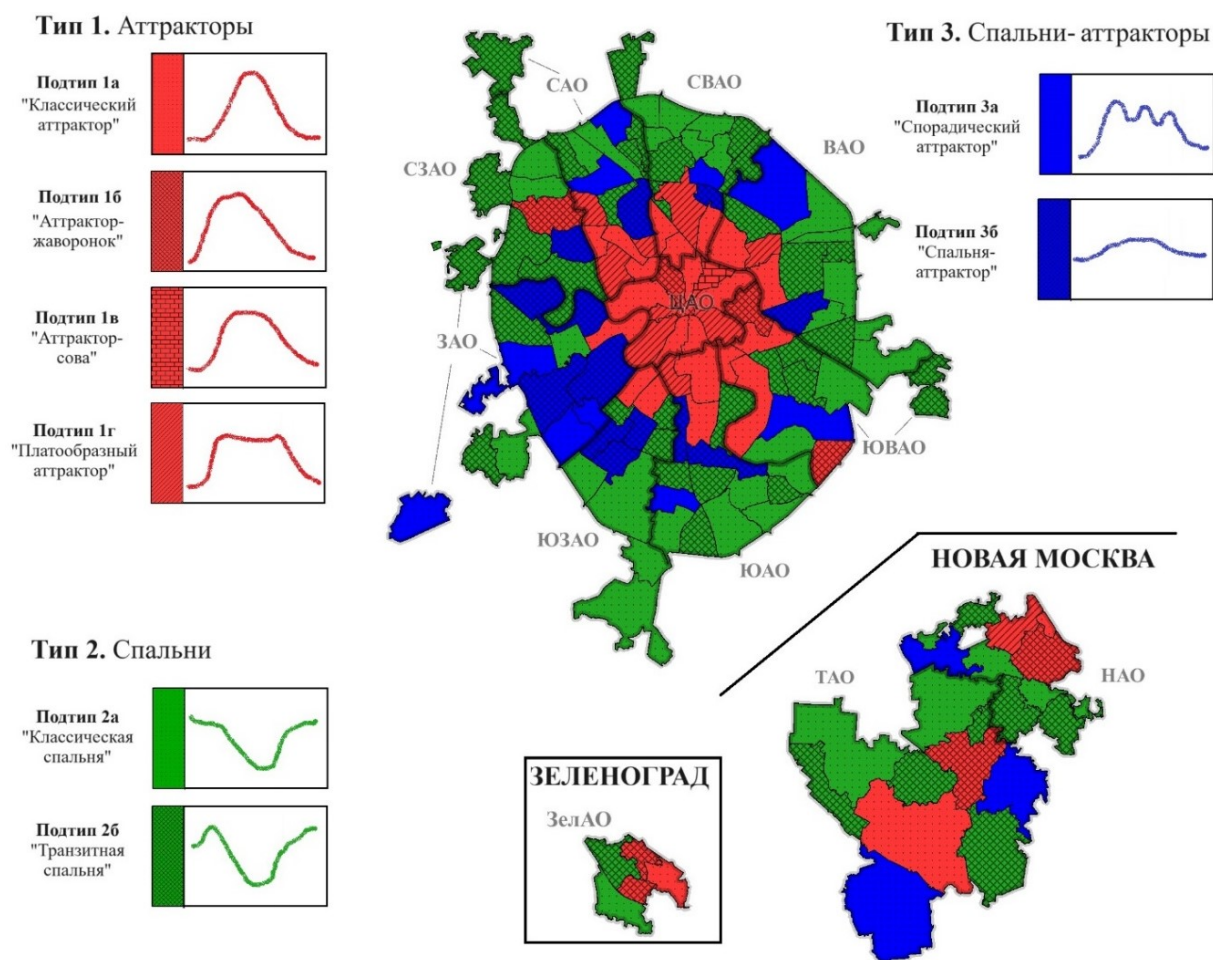


Рис. 11. Хронотипы районов Москвы по суточной динамике населения
Fig. 11. Chronotypes of Moscow districts according to the daily dynamics of the population

«Классические аттракторы» — данная группа районов отличается выраженным пиком численности населения в дневные часы при равномерном утреннем росте и вечернем спаде населения (наиболее распространенная группа). Это районы, насыщенные местами приложения труда (Пресненский, Замоскворечье, Якиманка, Сокол и др.)

«Аттракторы-жаворонки» — в отличие от классических аттракторов, «жаворонки» отличаются резким повышением численности населения в утренние часы и пологим ее сокращением вечером. Такая картина связана со спецификой локального рынка труда — развитие промышленности и меньшая доля сектора услуг (Капотня, Лефортово) или же

ролью территории как крупного перераспределителя рабочей силы (Покровское-Стрешнево, Сосенское).

«*Аттракторы-совы*» — в противовес предыдущей группе, «совы» характеризуются постепенным нарастанием людности утром и стремительным сокращением населения в вечерние часы, что может свидетельствовать о меньшей по сравнению с классическими аттракторами привлекательности районов в качестве мест проведения вечернего досуга (Хорошевский, Савеловский) или же отражать значительный перевес общественно-деловых функций над жилыми (Арбат). В некоторых районах тренд спада смягчается, что сближает такие районы с классическими аттракторами (Таганский, Хамовники).

«*Платообразные аттракторы*» — редкий тип, отличающийся практически постоянным населением в дневные часы с характерным для аттракторов утренним ростом и вечерним спадом населения. Примером этого типа служит Красносельский район. Объяснение такого профиля — наличие ТПУ с мощными междугородними связями и промывным режимом функционирования, которые поддерживают практически одинаковую людность территории в течение дня.

«*Классические спальни*» — районы, в которых наблюдается заметное превышение ночного населения над дневным. К ним относятся большинство периферийных районов столицы с явно выраженным диспаритетом между местами приложения труда и проживания населения (Ясенево, Марьино, Бибирево и др.).

«*Транзитные спальни*» — в отличие от классических спален, в таких районах дневному спаду населения предшествует его кратковременный скачок, связанный с прохождением через территорию района значительных потоков коммютеров (Хорошево-Мневники, Кузьминки и др.).

«*Спорадические аттракторы*» — районы, тип суточной динамики в которых подвержен многочисленным флуктуациям. Типичным примером можно считать район Внуково — место постоянного притока и оттока значительных масс населения. В результате на суточном профиле наблюдается несколько локальных максимумов.

«*Спальни-аттракторы*» — районы, совмещающие в себе как общественно-деловые, так и спальные функции. В результате профиль изменения их людности характеризуется незначительным превышением дневного населения над ночным. К данной группе относятся ряд городских субцентров (Раменки, Щукино, Тимирязевский, Коньково и некоторые другие).

ВЫВОДЫ

Результаты проведенного анализа движения населения г. Москвы на выборках данных за 2018–2019 гг. показывают, что динамика населения представляется в виде сложной комбинации нескольких циклов, нанизанных на общий тренд (в данном исследовании предполагался линейный тренд ввиду короткого периода анализа). Необходимо отметить, что авторы действовали в условиях ограниченности наличных данных, обусловленных их новизной. В дальнейшем при условии получения информации планируется рассмотрение циклов за большее количество лет, т. е. уточнение результатов. Далее приведем ключевые выявленные циклические компоненты, дадим их экономико-географическое описание и интерпретацию.

1. *Квазицикл, связанный с временами года (низкочастотный)*. Расположение Москвы в зоне умеренно континентального климата с четко выраженной сезонностью предопределяет высокую зависимость образа жизни горожан от времени года. Тем самым хорошо дифференцируемы «осенне-зимний» цикл (когда большая часть населения сосредоточена в городе) и «весенне-летний» (когда, напротив, происходит

- отток постоянных жителей на дачи и места проведения отпусков, традиционно приуроченных у значительного числа граждан именно к этому периоду).
2. *Недельный цикл.* В целом в масштабе города для недельного цикла характерны пиковые значения в будние дни и глубокий спад в выходные, что вызвано не только оттоком населения в нерабочие дни с рекреационными целями за город, но и спецификой маятниковой трудовой миграции.
 3. *Промежуточный недельный цикл.* Одна из наиболее интересных «находок» исследования. Предположительно связан с режимом рабочего времени по ряду профессии (три через три дня и т. п.).
 4. *Суточный цикл.* Для суточного цикла движения населения характерен стремительный утренний подъем, пиковые значения в середине рабочего дня и более пролонгированная в сравнении с утренним подъемом фаза вечернего спада. В основном в этом цикле задействованы жители Подмосквья, проживающие в пределах полуторачасовой транспортной доступности от Москвы, ежедневно совершающие маятниковые трудовые миграции. При этом для цикла выходного дня характерны колебания численности населения с меньшей амплитудой в течение суток.

Сопоставление суточного градиента численности населения для различных времен года демонстрирует устойчивую тенденцию к возрастанию градиента для весенне-летних периодов. Данное явление связано прежде всего с началом использования загородного (дачного) жилья жителями Москвы, что обуславливает больший размах колебаний численности населения города для этих времен года.

После анализа суточных колебаний людности на муниципальном уровне были выделены *хромотипы районов города*, достаточно четко маркирующие их функциональные роли.

Группа аттрактивных районов отличается преобладанием дневного населения над ночным. При этом выделяются классические аттракторы — с равномерным утренним притоком и вечерним оттоком населения, платообразные аттракторы — районы, в которых дневное население практически неизменно в дневное время, но при этом превышает ночное, «аттракторы-жаворонки» и «аттракторы-совы» со сдвигом в сторону утреннего притока или вечернего оттока соответственно.

Вторая группа формируется *классическими и транзитными спальными районами*. Характерная особенность «спален» — превышение ночного населения над дневным. При этом в транзитных спальнях наблюдается небольшой утренний всплеск людности, связанный с перемещением по их территории комьютеров из других территорий.

Наконец, третья группа состоит из районов *промежуточного спально-аттрактивного типа*, имеющих свойства как спальных, так и аттрактивных районов. Для этих районов характерен небольшой диспаритет между местами проживания и приложения труда, вследствие чего численность населения муниципалитетов данной группы не сильно изменяется в течение суток.

Обнаруженные циклические закономерности на примере такого огромного и динамичного города, как Москва, открывает перед исследователями широкие возможности для развития методологии применения данных сотовых операторов для более глубокого изучения систем расселения. Одним из перспективных направлений применения полученных результатов может стать изучение пространственно-временной динамики населения Москвы и ее агломерации в зависимости от погодно-климатических условий. При этом циклы разного иерархического уровня могут быть связаны с соответствующими им по масштабу погодно-климатическими циклами: годовой — со сменой естественных границ

сезонов, недельный и суточный — с действием экстремальных погодных явлений. Таким образом, продолжение данного пионерного исследования видится авторам необходимым для решения целей управления погодно-климатическими рисками, обеспечения условий безопасности и комфортности для городского населения посредством разработки нового инструментария, позволяющего моделировать состояние системы расселения и ее циклической динамики под воздействием различных факторов в высоком географическом разрешении в разные временные срезы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Департаменту информационных технологий Правительства Москвы за предоставление данных сотовых операторов.

Часть работы выполнена в рамках государственной бюджетной темы научно-исследовательской работы НИЛ геоэкологии Севера географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова «Эволюция, современное состояние и прогноз развития береговой зоны Российской Арктики», № 121051100167-1.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors express their gratitude to the Department of Information Technology of the Moscow Government for providing data from mobile operators.

The study was partially funded within the framework of the state budget of the research work of the Research Institute of Geoecology of the Northern Territories, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University “Evolution, current state and forecast of development of the coastal zone of the Russian Arctic”, No. 121051100167-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бабурин В. Л., Чистяков П. А.* и др. Пространство циклов. Мир – Россия – регион. Москва: URSS, 2007. 316 с.
- Давидович В. Г.* Расселение в пригородных зонах (количественные закономерности). Вопросы географии. Сб. 87: Расселение в пригородных зонах. М.: Мысль, 1971. С. 5–43.
- Землянский Д. Ю.* Сезонные ритмы социально-экономических процессов в регионах России: автореферат диссертации кандидата географических наук. М.: МГУ имени М. В. Ломоносова, 2011. 26 с.
- Избранные труды Кондратьевского Конъюнктурного института. М.: Экономика, 2010, 719 с.
- Карачурина Л. Б.* Внутривоспешская трудовая миграция: распространенность и география передвижений. Экономическое развитие России, 2013. Т. 20. № 7. С. 45–49.
- Лаппо Г. М., Маергойз И. М.* География и урбанизация. Вопросы географии. Сб. 96: Урбанизация мира. М.: Мысль, 1974. С. 5–18.
- Махрова А. Г., Кириллов П. Л.* Сезонная пульсация расселения в Московской агломерации под влиянием дачной и трудовой маятниковой миграции: подходы к изучению и оценка. Региональные исследования, 2015. № 1(47). С. 117–125.
- 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.

Нефедова Т. Г. Отходничество в системе миграций в постсоветской России. Предпосылки. Демоскоп Weekly, 2015. № 641-642. Электронный ресурс: <http://demoscope.ru/weekly/2015/0641/demoscope641.pdf> (дата обращения 31.07.2024).

Нефедова Т. Г., Махрова А. Г. Дачники между двух столиц. Путешествие из Петербурга в Москву: 222 года спустя. Книга 1. М.: URSS, 2015. С. 190–207.

Пространственно-временной анализ системы расселения Московского столичного региона. М.: Институт географии АН СССР, 1988. 204 с.

Старикова А. В., Демидова Е. Е. Социально-экономические явления в цифровую эпоху: хроногеографический подход к геовизуализации. Геополитика и экогеодинамика регионов, 2019. Т. 5(15). № 3. С. 344–352.

Хорев Б. С., Смолина Т. К., Вишневский А. Г. Маятниковая миграция в СССР и ее изучение. Проблемы миграции населения и трудовых ресурсов. М.: Статистика, 1970. С. 100–112.

Шутова Ю. Ю. Маятниковая миграция в Подмосковье: комплексный социально-экономический анализ. Саранск: Издательство Мордовского университета, 2009. 188 с.

Babkin R. A., Badina S. V., Bereznyatsky A. N. Assessment of temporal variability in the level of population vulnerability to natural and man-made hazards. Geography, Environment, Sustainability, 2022. V. 15. No. 4. P. 90–101. DOI: 10.24057/2071-9388-2022-116.

Babkin R. A., Badina S. V., Mikhaylov A. Intraday dynamics of the urban population in studies of natural and man-made risks (case study of Moscow, Russia). Lecture Notes in Networks and Systems, 2023. No. 622. P. 417–427. DOI: 10.1007/978-3-031-28086-3_35.

Badina S., Babkin R., Bereznyatsky A., Bobrovskiy R. Spatial aspects of urban population vulnerability to natural and man-made hazards. City and Environment Interactions, 2022. V. 15. P. 100082. DOI: 10.1016/j.cacint.2022.100082.

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. USA, 2014. V. 111. No. 45. P. 88–93. DOI: 10.1073/pnas.1408439111.

Ellegard K. Thinking time geography: Concepts, methods and applications. New York: Taylor & Francis, 2019. 172 p.

Geyer H. S., Kontuly T. A theoretical foundation of the concept of differential urbanization. International Regional Science Review, 1993. V. 15. Iss. 2. P. 157–177. DOI: 10.1177/016001769301500202.

Gibbs J. The evolution of population concentration. Economic Geography, 1963. V. 2. P. 119–129.

Ho E. L. E. Social geography I: Time and temporality. Progress in Human Geography, 2021. V. 45. No. 6. P. 1668–1677. DOI: 10.1177/03091325211009304.

Huang N., Shen Z., Long S., Wu M. L. C., Shih H., Zheng Q., Yen N.-C., Tung C.-C., Liu H. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 1998. V. 454. P. 903–995. DOI: 10.1098/rspa.1998.0193.

Klaassen L. H., Scimeni G. Theoretical issues in urban dynamics. Dynamics of Urban Development. Aldershot: Gower, 1981. P. 8–28.

May J., Thrift N. J. Time Space: Geographies of Temporality. London: Psychology Press, 2001. 323 p.

Sorokin P. A., Merton R. K. Social Time: A Methodological and Functional Analysis. *American Journal of Sociology*, 1937. V. 42. No. 5. P. 615–29.

REFERENCES

- Babkin R. A., Badina S. V., Bereznyatsky A. N.* Assessment of temporal variability in the level of population vulnerability to natural and man-made hazards. *Geography, Environment, Sustainability*, 2022. V. 15. No. 4. P. 90–101. DOI: 10.24057/2071-9388-2022-116.
- Babkin R. A., Badina S. V., Mikhaylov A.* Intraday dynamics of the urban population in studies of natural and man-made risks (case study of Moscow, Russia). *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2023. No. 622. P. 417–427. DOI: 10.1007/978-3-031-28086-3_35.
- Baburin V. L., Chistyakov P. A. et al.* The space of cycles. Mir – Russia – region. Moscow: URSS, 2007. 316 p. (in Russian).
- Badina S., Babkin R., Bereznyatsky A., Bobrovskiy R.* Spatial aspects of urban population vulnerability to natural and man-made hazards. *City and Environment Interactions*, 2022. V. 15. P. 100082. DOI: 10.1016/j.cacint.2022.100082.
- Davidovich V. G.* Settlement in suburban areas (quantitative patterns). *Questions of geography. Collection 87: Settlement in suburban areas*. Moscow: Mysl', 1971. P. 5–43 (in Russian).
- 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. USA*, 2014. V. 111. No. 45. P. 88–93. DOI: 10.1073/pnas.1408439111.
- Ellegard K.* Thinking time geography: Concepts, methods and applications. New York: Taylor & Francis, 2019. 172 p.
- Geyer H. S., Kontuly T.* A theoretical foundation of the concept of differential urbanization. *International Regional Science Review*, 1993. V. 15. Iss. 2. P. 157–177. DOI: 10.1177/016001769301500202.
- Gibbs J.* The evolution of population concentration. *Economic Geography*, 1963. V. 2. P. 119–129.
- Ho E. L. E.* Social geography I: Time and temporality. *Progress in Human Geography*, 2021. V. 45. No. 6. P. 1668–1677. DOI: 10.1177/03091325211009304.
- Huang N., Shen Z., Long S., Wu M. L. C., Shih H., Zheng Q., Yen N.-C., Tung C.-C., Liu H.* The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 1998. V. 454. P. 903–995. DOI: 10.1098/rspa.1998.0193.
- Karachurina L.* Internal Russian labor migration: prevalence and geography of movements. *Economic Development of Russia*, 2013. V. 20. No. 7. P. 45–49 (in Russian).
- Khorev B. S., Smolina T. K., Vishnevsky A. G.* Pendulum migration in the USSR and its study. *Problems of migration of population and labor resources*. Moscow: Statistika, 1970. P. 100–112 (in Russian).
- Klaassen L. H., Scimeni G.* Theoretical issues in urban dynamics. *Dynamics of Urban Development*. Aldershot: Gower, 1981. P. 8–28.
- Lappo G. M., Maergoyz I. M.* Geography and urbanization. *Geography issues. Collection 96: The Urbanization of the World*. Moscow: Mysl', 1974. P. 5–18 (in Russian).
- Makhrova A. G., Kirillov P. L.* Seasonal pulsation of settlement in the Moscow agglomeration under the influence of suburban and labor pendulum migration: Approaches to study and assessment. *Regional Studies*, 2015. No. 1(47). P. 117–125 (in Russian).

Makhrova A. G., Kirillov P. L., Bochkarev A. N. Pendulum labor migration of the population in the Moscow agglomeration: experience in estimating flows using data from mobile operators. *Regional studies*, 2016. No. 3(53). P. 71–82 (in Russian).

May J., Thrift N. J. *Time Space: Geographies of Temporality*. London: Psychology Press, 2001. 323 p.

Nefedova T. G. Seasonal work in the migration system in post-Soviet Russia. Background. *Demoscope Weekly*, 2015. No. 641-642. Web resource: <http://demoscope.ru/weekly/2015/0641/demoscope641.pdf> (accessed 31.07.2024) (in Russian).

Nefedova T. G., Makhrova A. G. Summer residents between two capitals. Journey from St. Petersburg to Moscow: 222 years later. Book 1. Moscow: URSS, 2015. P. 190–207.

Selected works of Kondratievsky Conjunctural Institute. Moscow: Economics, 2010. 719 p. (in Russian).

Shitova Yu. Yu. Pendulum migration in the Moscow Region: a comprehensive socio-economic analysis. Saransk: Mordovian University Press, 2009. 188 p. (in Russian).

Sorokin P. A., Merton R. K. Social Time: A Methodological and Functional Analysis. *American Journal of Sociology*, 1937. V. 42. No. 5. P. 615–29.

Spatial and temporal analysis of the settlement system of the Moscow capital region. Moscow: Institute of Geography of USSR Academy of Sciences, 1988. 204 p. (in Russian).

Starikova A. V., Demidova E. E. Socio-economic phenomena in the digital age: A chrono-geographic approach to geovisualization. *Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions*, 2019. V. 5(15). No. 3. P. 344–352 (in Russian).

Zemlyansky D. Yu. Seasonal rhythms of socio-economic processes in the regions of Russia: Abstract of the dissertation of the PhD of Geographical Sciences. Moscow: Lomonosov Moscow State University, 2011. 26 p. (in Russian).