

УДК 711.467.25.03

**В. А. Ильичев,
В. И. Колчунов,
В. А. Гордон,
Н. В. Бакаева,
А. А. Кормина**

**ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ
ЖИЛОГО РАЙОНА
БИОСФЕРОВОСВЕСТИМОГО
ГОРОДА**

Исследование выполнено за счет средств государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» на плановый период 2021–2022 гг. в рамках Плана фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН на 2021 год.

Рассматривается задача моделирования динамики численности населения биосферосовместимого города в рамках осуществления национальных целей и стратегий развития по формированию комфортной и безопасной среды. Теоретическую базу исследования составляет парадигма жизнедеятельности – биосферосовместимых городов и поселений, развивающих человека, и ее принципы: об оценке социального положения и прогресса в развитии человека в городе; об удовлетворении рациональных потребностей человека функциями города и о внедрении социальных стандартов в общественные отношения. Практическим инструментарием решения поставленной задачи служат методы имитационного моделирования и корреляционно-регрессионного анализа, которые в настоящей работе использованы для выявления статистических зависимостей по социально-демографическим показателям и построения системы дифференциальных уравнений. С использованием построенной модели выявлены тенденции развития демографической ситуации и даны прогнозы изменения численности населения жилого микрорайона при исследуемых параметрах среды жизнедеятельности.

Установленные

Введение

Национальными целями и стратегическими задачами Российской Федерации определено создание комфортной и безопасной среды жизнедеятельности города. В соответствии с июльским указом президента России в ближайшей перспективе необходимо обеспечить кардинальное повышение комфортности городской среды, сокращение количества городов с неблагоприятной средой жизнедеятельности. Эта установка определяет новые требования к градостроительной деятельности и имеет прямое отношение к фундаментальным аспектам развития общества (социальной сфере, землепользованию, экономике и материальной среде, комплексной безопасности, экологии, охране исторического и культурного наследия), где на основании исследований обширной проектно-градостроительной практики многих городов появляется информация о сложных «постпроектных» процессах [1], зачастую деструктивных [2] и происходящих преимущественно на территориях жилых районов.

На сегодняшний день в градостроительстве практически не используется механизм прогнозирования развития человеческого потенциала, отсутствуют прогнозы социальных и технических аспектов развития городской среды [3], в том числе прогнозы реконструктивной деятельности жилых районов массовой застройки прошлого столетия [4].

Вызовы современности предъявляют новые требования к показателям комфортной и безопасной среды жизнедеятельности города, состояние которой во многом определяется процессами градостроительной деятельности. В отечественной градостроительной науке, согласно определению, данному в РААСН, под *комфортностью пространственной среды* понимается такое ее объективное состояние и субъективное восприятие, которое соответствует системе сложившихся в данное время, в данном месте, в данном обществе потребностей, ценностей, этических норм и культурных традиций, формирующих представление о том, какие элементы и свойства пространственной среды необходимы для достойного существования человека [5].

Во многих странах мира речь идет лишь о базовом комфорте жизнедеятельности (свободе от

статистические закономерности жизнедеятельности и динамическая модель являются предметом дальнейшей научной дискуссии и обсуждения многофакторных процессов жизнедеятельности населения биосферосовместимого города с целью достижения показателей его комфортности и безопасности.

Ключевые слова:

среда жизнедеятельности, биосферосовместимый город, комфорт, безопасность, динамическая модель, корреляционно-регрессионный анализ, имитационное моделирование, прогнозирование.

**V. A. Ilyichev,
V. I. Kolchunov,
V. A. Gordon,
N. V. Bakaeva,
A. A. Kormina**

**DYNAMIC MODEL
OF THE POPULATION
OF A RESIDENTIAL AREA
OF A BIOSPHERIC
COMPATIBLE CITY**

The study was carried out at the expense of the state program of the Russian Federation "Scientific and technological development of the Russian Federation" for the planning period 2021–2022 within the framework of the Plan of Basic Scientific Research of the Ministry of Construction of Russia and the Russian Academy of Architecture and Building Sciences for 2021.

The problem of modeling the population dynamics of a biosphere-compatible city in the framework of implementing national goals and development strategies for creating a comfortable and safe environment is considered. The theoretical basis of the research is the paradigm of life activity-biosphere-compatible cities

жажды и голода, жилье и здоровье)¹. Поскольку *комфорт* — понятие субъективное и во многом связанное с потребностями человека («что человек хочет»), то достигается комфортность среды, чаще всего, через неумеренное и нерациональное потребление различных ресурсов («что человек может»). В связи с этим в настоящее время получило распространение понятие *суперкомфорта*, когда экспоненциально растущие потребности человека реализуются за счет природных ресурсов [6].

Сегодня совершенно очевидно, что городские территории нельзя считать комфортными, если в состав показателей качества пространственной городской среды не включены многообразные условия общественной жизни, учитывающие национальные, этнические и религиозные интересы [7]. Социальное расслоение общества на «богатых» и «бедных», достигшее в отдельных случаях уровня гиперполяризации, несоответствие интересов отдельных социальных и этнических групп и противостояние культур, нездоровый образ жизни (курение, пьянство, наркомания, преступность, одиночество, отказ от семейной жизни, стрессы и другие негативные явления, которые человек выбирает по собственной воле) — это далеко не полный перечень факторов, определяющих социальную деградацию и девиантное поведение современного общества [8].

Для достижения цели комфортной и безопасной среды жизнедеятельности интересен опыт развитых городов, например зеленых городов и экопоселений [9], умных городов [10]. Основная сложность достижения целей комфортной и безопасной городской среды заключается в том, что на сегодняшний день нет единой методики планирования и проектирования городских пространств, нет единых показателей жилищных условий и критериев оценки их состояния, а имеющиеся интегральные показатели не всегда отражают синергетический характер (синергетический или антагонистический?) процессов жизнедеятельности человека. Отсутствие реальных количественных показателей комфортности проживания населения препятствует полноценному и гармоничному развитию личности, обостряет социаль-

¹Бриллембург А. Новый урбанизм: как архитектура решает социальные проблемы: доклад в рамках проекта «Город своими руками» 08 сентября 2018 г. <https://www.youtube.com/watch?v=8883OgOlrGk>.

and settlements that develop people, and its principles: on the assessment of the social situation and progress in human development in the city; on the satisfaction of rational human needs by the functions of the city and on the introduction of social standards in public relations. Practical tools for solving this problem are the methods of simulation modeling and correlation and regression analysis, which in this paper are used to identify statistical dependencies on socio-demographic indicators and build a system of differential equations. Using the constructed model, trends in the development of the demographic situation are identified and forecasts of changes in the population of a residential microdistrict are given for the studied parameters of the living environment. The established statistical patterns of life activity and the dynamic model will be the subject of further scientific discussion and discussion of multifactorial processes of life activity of the population of a biosphere-compatible city in order to achieve indicators of its comfort and safety.

Key words:

living environment,
biospheric compatible city,
comfort,
safety,
dynamic model,
correlation and regression
analysis,
simulation modeling,
forecasting.

Об авторах:

Ильичев Вячеслав Александрович — академик РААСН, д-р техн. наук, профессор, Российская академия архитектуры и строительных наук.
Российская Федерация, 127025, г. Москва, ул. Новый Арбат, 19;
ilyichev@raasn.ru

Ilyichev Vyacheslav Alexandrovich — Academician of RAASN, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Russian Academy of Architecture and Construction Sciences.
19, Noviy Arbat St., Moscow, 127025, Russian Federation;
ilyichev@raasn.ru

Колчунов Виталий Иванович — академик РААСН, д-р техн. наук,

ную напряженность в обществе, в связи с чем исследования, направленные на выявление закономерностей комфортной и безопасной жизнедеятельности человека на урбанизированных территориях, представляются актуальными.

Постановка задачи исследования

Основываясь на предпосылке, что инфраструктура жилых районов, реализующая функции биосферосовместимого города, есть индикатор его жизнедеятельности и уровня социального благополучия населения, живущего в этих районах, ставится задача изучения и учета множества факторов жилой среды при прогнозировании демографических и социальных ее показателей.

Методология и методы исследования. Теоретическую базу настоящего исследования составляет парадигма и принципы жизнедеятельности биосферосовместимых городов и поселений, развивающих человека [11].

Практическим инструментарием решения поставленной задачи — построения прогнозных моделей численности населения в зависимости от функционального обустройства жилых районов города — служат методы корреляционно-регрессионного анализа и имитационного моделирования.

Обзор научных публикаций. Научными исследованиями В. Н. Азарова, В. В. Алексашиной, В. В. Гутенева, А. Д. Потапова, Э. В. Сазонова, В. Ф. Сидоренко, В. И. Теличенко, А. Н. Тетиора, В. А. Хомич, С. Б. Чистяковой, Е. В. Щербины и других ученых получены результаты, в которых установлены, например, функциональные зависимости между отравляющими выбросами и деградацией окружающей город природной среды [12], загрязняющими веществами и болезнями проживающего на урбанизированных территориях населения [13]. Исследования, проводимые в этом направлении в настоящее время, позволяют установить строгие математические закономерности между качеством жизни и сложившемся типом взаимоотношений с природной средой. Так, в работе [14] отмечена сильная корреляция между экологическими факторами и демографическими показателями. Рядом исследований в области устойчивого функционирования природно-антропогенных систем [15, 16] установлены нелинейные зависимости ожидаемой продолжительности жизни населения от потребляемых природных ресурсов.

*профессор,
Юго-Западный государственный
университет.
Российская Федерация, 305040,
г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94;
yz_swsu@mail.ru*

*Kolchunov Vitaly Ivanovich –
Academician of RAASN,
Doctor of Engineering Sciences,
Professor, Southwest State University.
94, 50 Let Oktyabrya St., Kursk,
305040, Russian Federation;
yz_swsu@mail.ru*

*Гордон Владимир
Александрович –
советник РААСН, д-р техн. наук,
профессор,
Орловский государственный
университет им. И.С. Тургенева.
Российская Федерация, 302026,
г. Орел, ул. Комсомольская, 95;
gordon1312@mail.ru*

*Gordon Vladimir Alexandrovich –
Advisor of RAACS,
Doctor of Engineering Sciences,
Professor, Orel State University.
95, Komsomolskaya St., Orel,
302026, Russian Federation;
gordon1312@mail.ru*

*Бакаева Наталья Владимировна –
советник РААСН, д-р техн. наук,
профессор,
Национальный
исследовательский
Московский государственный
строительный университет.
Российская Федерация, 129337,
г. Москва, Ярославское шоссе,
26; natbak@mail.ru*

*Bakaeva Natalia Vladimirovna –
Advisor of RAACS,
Doctor of Engineering Sciences,
Professor,
Moscow State University
of Civil Engineering
(National Research University).
26, Yaroslavl Highway, Moscow,
129337, Russian Federation;
natbak@mail.ru*

*Кормина Александра
Алексеевна – аспирантка,
Юго-Западный государственный
университет.
Российская Федерация, 305040,
г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94;
a_komina92@mail.ru*

*Komina Alexandra Alexeevna –
Post Graduate student,
Southwest State University.
94, 50 Let Oktyabrya St., Kursk,
305040, Russian Federation;
a_komina92@mail.ru*

Работы академика РААСН В. А. Ильичева и его последователей сделали возможным понимание того, что абсолютной ценностью является природа, которая выше человека, и человек является ее элементом, а любое действие против природы воспринимается как особо опасное [17, 18]. Комплексная характеристика объективных и субъективных условий жизнедеятельности населения города определяет физическое, ментальное, социально-культурное развитие человека, группы или сообщества людей, а развитая инфраструктура города — это индикатор уровня общественного развития, определяющий в значительной степени уровень благоприятности и комфортности среды жизнедеятельности [19]. Так, базируясь на принципах биосферной совместимости, в исследовании [20] была разработана методика установления причинно-следственных связей между количеством населения региона и уровнями ряда факторов, определяющими условия для развития человека на урбанизированных территориях. Процедура предложенного имитационного моделирования позволяет оценивать демографическую ситуацию в регионе в зависимости от загрязнения атмосферного воздуха и водных ресурсов. Расчетной основой служит статистика по уровню загрязнения компонентов природной среды и (или) данные мониторинга состояния окружающей среды города [21]. Исследованиями установлено, что сложившаяся в городской среде экологическая обстановка значительно снижает качество человеческого ресурса, ведет к депопуляции населения [22], сопровождается его инвалидизацией [23] и старением [24].

Вопросы математического моделирования динамики и взаимовлияния численности населения и экологических факторов получили развитие и рассматриваются в работе [25]. Математические модели строятся на основе систем дифференциальных уравнений и отражают взаимодействия подсистем в виде численности населения, параметров загрязнения атмосферы и водоемов на урбанизированных территориях. Наряду с известными и ранее построенными математическими моделями динамики численности населения авторами предложена альтернативная нелинейная модель, основанная на аналоге математической модели совместного существования двух видов [26]. Альтернативная модель приводит к устойчивому стационарному нулевому состоянию, неотрицательным непериодическим решениям при

положительной начальной численности и может быть пригодна как для описания динамики населения, так и для управления демографической ситуацией на урбанизированных территориях.

Математическая модель динамики населения микрорайона биосферосовместимого города. Для построения математической модели в настоящей работе использовались данные обследования 17 жилых районов 15 различных городов России с численностью населения от 2 до 50 тыс. человек. Обследование проводилось с учетом факторов, выявленных на основе оценки соответствия требованиям градостроительного и архитектурно-строительного проектирования. В качестве независимых (объясняющих) факторов принято 50 показателей ($X_1—X_{50}$), характеризующих различные составляющие реализуемости функций города Φ_i при условии, что значимость всех функций города одинаковая, а реализуемость их в жилых районах разная. В составе факторов принимались во внимание факторы экологической безопасности жилых территорий, обусловленные выбросами от подвижных и стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха и обращением с ТКО ($X_{46}—X_{49}$). Фактором так называемого «механизма демографического воспроизводства» является показатель *численность населения* (X_{50}).

Ранжирование объясняющих факторов и включение в модель наиболее значимых показателей в рамках наивысшей реализуемости функций биосферосовместимого города выполнено методом корреляционно-регрессионного анализа, в ходе которого получены уравнения регрессии, отражающие статистические закономерности жизнедеятельности населения жилых районов.

В модель динамики населения включены линейные многофакторные регрессионные уравнения для объясняемых факторов: Y_1 — количество родившихся за год:

$$Y_1 = a_{01} + a_{11}x_{50} + a_{21}x_{30} + a_{31}x_{24} + a_{41}x_{34} + a_{51}x_3 \quad (1)$$

и Y_2 — количество умерших за последний год:

$$Y_2 = a_{02} + a_{12}x_{50} + a_{22}x_{30} + a_{32}x_{14} + a_{42}x_{12} + a_{52}x_3, \quad (2)$$

где x_{50} — численность населения микрорайона, тыс. человек;

x_{30} — обеспеченность объектами учреждений, организаций и предприятий обслуживания (кафе, рестораны и т. п.);

x_{24} — инженерная защищенность территории и уровень экологической безопасности (уровень защищенности помещений от накопления радона);

x_{34} — площадь территории зон массового кратковременного отдыха, м²;

x_{14} — индекс доступности жилья (рыночная стоимость жилья, руб./м²);

x_{12} — доступность объектов инфраструктуры первичного обслуживания (медицинские организации), м;

x_3 — коэффициент плотности застройки, %.

Объясняемые факторы — это преимущественно факторы, которые составляют две функции города — Φ_1 *жизнеобеспечение* и Φ_2 *развлечение и отдых*, так как их реализуемость в обследуемых микрорайонах наивысшая.

В регрессионную модель динамики населения не включен фактор X_{48} (выбросы загрязняющих веществ), который наряду с сильной корреляцией с объясняемыми факторами Y_1 и Y_2 тесно связан с объясняющим фактором X_{50} — численность населения (коэффициент парной корреляции $K_{x_{48}x_{50}} \approx 0,8$), что свидетельствует о наличии коллинеарности, которой следует избегать в ре-

грессионных моделях. Поэтому из этих двух факторов в модели оставлен фактор x_{50} как имеющий больший коэффициент парной корреляции с Y_1 и Y_2 , чем фактор x_{48} . При этом влияние экологического фактора x_{48} на рождаемость и смертность, а через них и на численность населения микрорайона учитывается в модели, где принимается предпосылка, что прирост или убыль загрязнений и других объясняющих факторов пропорциональны численности населения.

Наличие уравнений (1) и (2) позволяет вычислить прирост населения за время Δt (лет):

$$\Delta N = \Delta_1 N \cdot \Delta t = (Y_1 - Y_2) \Delta t,$$

где $\Delta_1 N$ — прирост населения за единицу времени (год).

Заметим, что величина ΔN может быть и отрицательной.

Поскольку фактор x_{48} (выбросы загрязняющих веществ) не входит в модели Y_1 и Y_2 , влияние этого фактора на прирост (убыль) населения будем учитывать дополнительным слагаемым в разности:

$$\Delta_1 N = Y_1 - Y_2 - (K_1 - K_2) x_{48},$$

где K_1, K_2 — коэффициенты парной корреляции, характеризующие тесноту связей фактора x_{48} с Y_1 и Y_2 соответственно.

Переходя к пределу отношения $\Delta N/\Delta t$ при $\Delta t \rightarrow 0$, получим скорость (темп) изменения численности населения:

$$\frac{dN}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta N}{\Delta t} = \Delta_1 N = Y_1 - Y_2 - (K_1 - K_2) x_{48}. \quad (3)$$

Подставляя линейные многофакторные регрессионные уравнения (1), (2) в выражение (3), получим

$$\begin{aligned} \frac{dN}{dt} = & a_{01} - a_{02} + (a_{11} - a_{12}) x_{30} + a_{21} x_{24} + a_{31} x_{34} + a_{41} x_{48} + (a_{51} - a_{22}) x_{30} - a_{32} x_{14} - \\ & - a_{42} x_{12} - a_{52} x_3 - (K_1 - K_2) x_{48}. \end{aligned} \quad (4)$$

Аналогичным путем получим дифференциальные уравнения темпов изменения выбросов x_{48} , объясняющих факторов x_{24} , x_3 и др., приняв гипотезу о пропорциональности их приростов численности населения N территории жилого района:

$$\begin{aligned} \frac{dx_{48}}{dt} = \beta_0 N; \quad \frac{dx_{24}}{dt} = \beta_1 N; \quad \frac{dx_{34}}{dt} = \beta_2 N; \quad \frac{dx_8}{dt} = \beta_3 N; \quad \frac{dx_{30}}{dt} = \beta_3 N; \quad \beta_4 = \beta_5; \\ \frac{dx_{14}}{dt} = \beta_6 N; \quad \frac{dx_{12}}{dt} = \beta_7 N; \quad \frac{dx_3}{dt} = \beta_8 N, \end{aligned} \quad (5)$$

где $\beta_0, \beta_1, \beta_2 \dots \beta_8$ — коэффициенты парной корреляции между x_{50} и x_{48} , x_{50} и x_{24} и т. д.

Таким образом, получена система (4)—(5) обыкновенных дифференциальных уравнений 1-го порядка, описывающая темпы прироста населения и объясняющих факторов, входящих в предлагаемую модель динамики населения жилого микрорайона биосферосовместимого города.

Далее, дифференцируя обе части уравнения (4) по t и учитывая зависимости (5), сводим задачу к интегрированию дифференциального уравнения 2-го порядка относительно функции $N = N(t)$ ($x_{50} = x_{50}(t)$).

$$\frac{d^2 N}{dt^2} + 2m_1 \frac{dN}{dt} + m_2 N = 0, \quad (6)$$

где $N = x_{50}$; $2m_1 = a_{12} - a_{11}$; $m_2 = \beta_0 (K_1 - K_2) - a_{21}\beta_1 - a_{31}\beta_2 - a_{41}\beta_3 - (a_{51} - a_{22}) + \beta_5 + a_{32}\beta_6 + a_{42}\beta_7 + a_{52}\beta_8$.

Решение уравнения (6) ищем подстановкой Эйлера

$$N = Ae^{nt}, \quad (7)$$

где A, n — константы, подлежащие определению.

Подставляя (7) в (6), получим характеристическое уравнение

$$n^2 + 2m_1n + m_2 = 0, \tag{8}$$

корни которого

$$n_{1,2} = -m_1 \pm \sqrt{m_1^2 - m_2},$$

действительные

$$n_1 = -m_1 + \sqrt{m_1^2 - m_2} \text{ и } n_2 = -m_1 - \sqrt{m_1^2 - m_2},$$

если $m_1^2 > m_2$,

и комплексные

$$n_1 = -m_1 + i\sqrt{m_2 - m_1^2} \text{ и } n_2 = -m_1 - i\sqrt{m_2 - m_1^2},$$

если $m_1^2 < m_2$.

Соответственно, функция $N = N(t)$ принимает вид

$$N = e^{-m_1 t} (A_1 \operatorname{ch} \sqrt{m_1^2 - m_2} t + A_2 \operatorname{sh} \sqrt{m_1^2 - m_2} t),$$

если $m_1^2 > m_2$,

$$N = e^{-m_1 t} (A_1 \cos \sqrt{m_2 - m_1^2} t + A_2 \sin \sqrt{m_2 - m_1^2} t),$$

если $m_1^2 < m_2$.

Постоянные интегрирования A_1 и A_2 определяются из начальных условий процесса при $t = 0$:

$$\begin{cases} N(0) = N_0 \\ \frac{dN}{dt} \Big|_{t=0} = 0 \end{cases} \tag{9}$$

$A_1 = N_0; A_2 = N_0 \frac{m_1}{\sqrt{m_1^2 - m_2}}$, если $m_1^2 > m_2$ и $A_1 = N_0; A_2 = N_0 \frac{m_1}{\sqrt{m_2 - m_1^2}}$, если $m_1^2 < m_2$.

На рис. 1 приведены графики динамики численности населения жилого микрорайона с начальной численностью $N_0 = 12,64$ тыс. человек, полученные путем варьирования величиной фактора x_{14} — индекс доступности жилья (средняя рыночная стоимость).

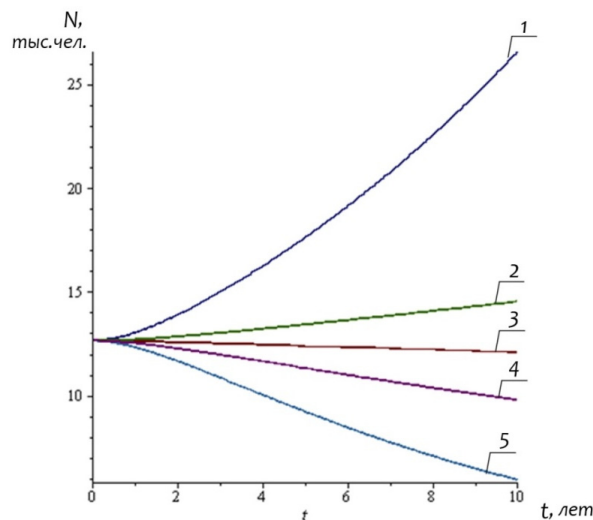


Рис. 1. Графики динамики численности населения жилого микрорайона. Варьируемый параметр x_{14} — индекс доступности жилья (средняя рыночная стоимость), тыс. руб./м², равен: 1 — 35; 2 — 38; 3 — 39,5; 4 — 41; 5 — 47

Очевидно, что с ростом рыночной стоимости жилья численность населения жилых микрорайонов снижается: изменение стоимости на 10 % позволит наметить тенденцию для увеличения численности населения практически вдвое. Рост наблюдаемой функции начинает происходить очень быстро, чем больше меняется фактор x , что отражает экспоненциальный характер зависимости. Исходя из свойства экспоненциальной функции, можно сказать, что за одинаковый интервал времени параметры показателя численности населения изменяются в одинаковое число раз. На этапе прогнозирования период 2—3 года на оси времени не приведет к резкой динамике численности населения, а далее следует вводить ограничения и принимать регулирующие воздействия в области жилищной политики обеспечения населения России доступным жильем.

Сегодня понятие доступного жилья определяется индексом доступности, который рассчитывается как отношение рыночной стоимости жилья к совокупному годовому доходу семьи из трех человек. Рыночные механизмы доступности жилья различным категориям граждан (ипотека, аренда, мероприятия региональных жилищных программ и др.) отражены в качестве приоритетных в государственной программе «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации».

Градостроительное решение жилой застройки помимо рассмотренной выше стоимости жилого фонда подразумевает параметры его плотности в общей функции комфортности проживания. Более того, погоня за максимальной плотностью и максимальной «отдачей» конкретной территории порождает проблему обеспечения безопасной жизнедеятельности населения. По изложенным причинам варьирование фактором x_3 — «коэффициент плотности застройки» — позволит выявить, как параметры градостроительной среды определяют ее качество и влияют на комфортность и безопасность жизнедеятельности.

Проведенное исследование влияния фактора плотности застройки (интенсивности использования территории) на темпы численности населения позволило установить характер динамического процесса изменения показателя численности населения жилого микрорайона (рис. 2).

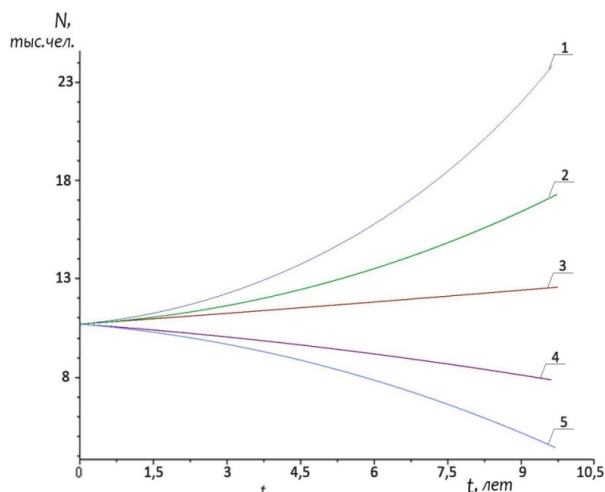


Рис. 2. График динамики численности населения жилого микрорайона. Варьируемый параметр x_3 — коэффициент плотности застройки, равный: 1 — 1,1; 2 — 1,0; 3 — 0,9; 4 — 0,8; 5 — 0,7

Очевидно, что характер динамики численности населения жилого микрорайона — экспоненциальный. Непродуманные, завышенные сверх нормативных значений показатели плотности застройки в сочетании с другими факторами могут привести к «критической массе» населения жилого района. Для города и его жилых районов состоянием «критической массы» населения или «необратимой реакции» может быть достижение такого уровня качества и количества застройки, при котором территория может сохранять достигнутый уровень благополучия без дополнительных внешних усилий либо может перейти на более высокий (интенсивный) уровень. В отечественной градостроительной науке эта теория носит название теории самоорганизации городских систем. Количественное определение «критической массы населения» — это интегральный показатель множества количественных и качественных характеристик городской среды, прежде всего социальных, демографических и экономических.

Плотность застройки относится не только к градостроительному, но и к экологическому фактору жизнедеятельности человека на урбанизированных территориях. Экологическое состояние городской среды напрямую зависит от численности населения, что подтверждает выдвинутую гипотезу исследования: варьирование градостроительными факторами отражается численностью проживающего на этой территории населения.

Известными на сегодня и принятыми в качестве нормативов архитектурно-строительного проектирования зданий и сооружений и нормативных показателей планировки и застройки городских и сельских поселений являются статические зависимости здоровья населения от микроклиматических характеристик — солнечной радиации и аэрации, обеспеченности открытыми пространствами и озеленением, распространения шума, а также зависимости психического состояния людей от проживания в домах со значительной концентрацией людей. Актуальные российские градостроительные нормативы позволяют создать достаточно плотную городскую среду (максимальный коэффициент плотности застройки до 3) с благоприятными показателями микроклимата, но в таком случае при проектировании следует предусматривать более сложные объемно-пространственные и конструктивные решения, например основанные на принципах гелиотектуры [27]. С позиции концепции нормирования показателей плотности застройки как фактора прогнозирования численности населения жилого района исследование может рассматриваться для установления нормируемых параметров жизнедеятельности.

Заключение

Построена математическая модель динамики численности населения жилого микрорайона биосферосовместимого города, содержащая в своем решении параметры наиболее значимых факторов жизнедеятельности: загрязнение атмосферного воздуха, плотность застройки, оснащенность медицинскими учреждениями, предприятиями обслуживания, а также их доступность. Варьируя различные сочетания исходных параметров, можно выявить тенденции развития демографической ситуации в жилом микрорайоне, а также спрогнозировать другие жизненно важные показатели биосферосовместимого города на краткосрочную и долгосрочную перспективу при исследуемых факторах среды жизнедеятельности. Вместе с тем авторы отдают себе отчет в том, что

город и среда жизнедеятельности — это неизмеримо сложные и многогранные системы, и в данной статье не могут быть приведены пояснения всех элементов концепции и стратегического планирования городского развития. Для этих целей необходимо иметь достоверные данные по как можно большему числу параметров, характеризующих процессы жизнедеятельности, а также знать статистические закономерности демографических процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Антюфеев А. В., Птичникова Г. А.* Синергетический подход в теории развития города // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. № 46(65). С. 195—210. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27682137>.

2. *Крашенников А. В.* Видимый спектр градостроительных проблем // Градостроительное искусство. Новые материалы исследований РААСН, НИИТАГ. Вып. 1 / отв. ред. И. А. Бондаренко. М.: Комкнига, 2007. С. 461—463. URL: https://www.academia.edu/8641831/%D0%92%D0%B8%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D1%8B%D0%B9_%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80_%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D1%85_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BC_Vidimi_Spector_Gradostroitelnih_Problem.

3. *Митягин С. Д.* Теоретико-методологические задачи совершенствования проектно-градостроительной деятельности // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 1. С. 43—47. doi: 10.33622/0869-7019.2020.01.43-47.

4. *Алексеев Ю. В., Ануфриев А. А.* Подход к оценке объемно-пространственных параметров жилой застройки при массовой реновации // Градостроительство. 2018. № 1(53). С. 51—55. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32673143>.

5. Кузьмин А. В., Юсин Г. С. Качество жизни и качество пространственной среды — социальные стандарты и нормативы в градостроительстве, архитектуре, строительстве // Градостроительство. 2011. № 4(14). С. 16—20.

6. *Прядко И. П., Иванова З. И.* Биосферные и социальные процессы в аспекте формирования дизайна городской среды // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 10. С. 12—17. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30548523>.

7. *Акимкин Е. М.* Конфликтная социально-градостроительная ситуация // Социология управления: теоретико-прикладной толковый словарь. М., 2015. С. 135—136. URL: <https://www.isras.ru/publ.html?id=3597>.

8. Салахова В. Б., Еняшина Н. Г., Романова А. В. Проблема девиантного поведения в современном обществе // Власть. 2016. № 11. С. 33—37. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-deviantnogo-povedeniya-v-sovremennom-obschestve>.

9. Vegetation influences on the human thermal comfort in outdoor spaces: criteria for urban planning / F. Gómez, L. Montero, V. De Vicente, A. Sequí, N. Castilla // The Sustainable City. 2008. Vol. 117. P. 151—163. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/3700/07091d7916da68c5f3399e0656cac0714506.pdf>.

10. *Попова А. Н.* «Умный город»: угрозы и тенденции развития в современном обществе // Самоуправление. 2020. Т. 2. № 2(119). С. 449—452. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43069834>.

11. *Ильичев В. А.* Биосферная совместимость природы и человека — путь к системному решению глобальных проблем // Стратегические приоритеты. 2014. № 1(1). С. 42—58. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23605237>.

12. О совершенствовании системы мониторинга загрязнения оксидом углерода атмосферного воздуха линейных городов / В. Н. Азаров, Ю. П. Иванова, Е. Н. Подгайнова, И. А. Юрицына, О. О. Иванова // Инженерный вестник Дона. 2020. № 5 (65). С. 26—32. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N5y2020/6431>.

13. *Лещук С. И., Суркова И. В., Сенкевич Н. В.* Взаимосвязь загрязнения окружающей среды и экологически обусловленной заболеваемости населения на территории техногенного загрязнения // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2017. № 2. С. 56—62. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vzaimosvyaz-zagryazneniya-okruzhayuschey-sredy-i-ekologicheskoi-obuslovlennoy-zabolevaemosti-naseleniya-na-territorii-tehnogenogo>.

14. *Rodrigues M., Franco M.* Composite Index to Measure Cities' Creative Performance: An Empirical Study in the Portuguese Context // Sustainability. 2019. Vol. 11. Iss. 3. P. 774. doi: 10.3390/su11030774.

15. *Madreimov T., Li L.* Natural-resource dependence and life expectancy: a nonlinear relationship // Sustainable Development. 2019. Vol. 27. Iss. 4. Pp. 681—691. doi: 10.1002/sd.1932.

16. *Данилов-Данильян В. И.* Глобальная экологическая проблема и устойчивое развитие // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. 2019. № 4. С. 8—23. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41141864>.

17. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека / В. А. Ильичев, С. Г. Емельянов, В. И. Колчунов, В. А. Гордон, Н. В. Бакаева. М.: АСВ, 2015. 184 с.

18. *Ильичев В. А., Колчунов В. И., Бакаева Н. В.* Реконструкция урбанизированных территорий на принципах симбиоза градостроительных систем и их природного окружения // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 3. С. 4—11. URL: <http://www.pgs1923.ru/ru/index.php?m=4&y=2018&v=03&p=01>.

19. Моделирование и анализ закономерностей динамики изменения состояния биосферосовместимых урбанизированных территорий / В. А. Ильичев, С. Г. Емельянов, В. И. Колчунов, Н. В. Бакаева, С. А. Кобелева // Жилищное строительство. 2015. № 3. С. 3—9.

20. *Ильичев В. А., Колчунов В. И., Гордон В. А.* Методика прогнозирования показателей биосферосовместимости урбанизированных территорий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2010. № 2. С. 52—57. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19122223>.

21. *Ильичев В. А., Колчунов В. И., Гордон В. А.* К построению динамической модели открытой биосферосовместимой территории // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. № 5-2(38). С. 16—19. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17263835>.

22. *Ильичев В. А., Колчунов В. И., Гордон В. А.* Математическая модель динамики закрытой биосферосовместимой территории // Вестник Белорусско-Российского университета. 2012. № 4(37). С. 86—92. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18831257>.

23. *Gordon V., Pilipenko O., Bakaeva N.* Correlation-regression model of the ecological-demographic situation of an urbanized area // International Conference on Smart, Sustainable and Sensuous Settlements Transformation (3 settlements) Proceeding. 2018. Pp. 63—69.

24. *Gordon V. A., Pilipenko O. V., Poturaeva T. V.* Mathematical model of dynamics regional population age structure // 4th International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts SGEM-2017. Sofia, 2017. Pp. 393—400. URL: <https://sgemsocial.org/index.php/elibrary?view=publication&task=show&id=3069>.

25. *Востров В. К., Третьяков В. В.* Математические модели динамики численности населения и влияния на нее экологических факторов на урбанизированных территориях // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 10. С. 52—57. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24370329>.

26. *Трубецков В. И.* Феномен математической модели Лотки — Вольтерры и сходных с ней // *Известия вузов. ПНД*. 2011. Т. 19. № 2. С. 69—88. doi: 10.18500/0869-6632-2011-19-2-69-88.

27. *Непомящий С. В.* Разуплотнительная застройка и сверхплотность свободных пространств // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2020. № 3(31). С. 12—29. URL: http://biosfera.swsu.ru/archive/3_2020.pdf.

REFERENCES

1. Antyufeev A. V., Ptichnikova G. A. [A synergetic approach to the theories of city]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2020, iss. 46, pp. 195—210. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27682137>

2. Krashennikov A. V. [Visible range of urban planning problems]. In: Bondarenko I. A. *Gradostroitel'noe iskusstvo. Novye materialy issledovaniy RAASN, NIITAG. Vyp. 1* [New research materials of Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Research Institute of Theory and History of Architecture and Urban Planning. Issue 1]. Moscow, Komkniga Publ, 2007. Pp. 461—463. URL: https://www.academia.edu/8641831/%D0%92%D0%B8%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D1%8B%D0%B9_%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80_%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D1%82_%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D1%85_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BC_Vidimi_Spector_Gradostroitel'noy_Problem

3. Mitiagin S. D. [Theoretical And methodological problems of improvement of design and town-planning activity]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2020, no. 1, pp. 43—47. doi: 10.33622/0869-7019.2020.01.43-47.

4. Alexeev Yu. V., Anufriev A. A. [An approach to the assessment of the spatial parameters of the residential buildings at a mass renovation]. *Gradostroitel'stvo* [Urban Planning]. 2018, no. 1, pp. 51—55. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32673143>.

5. Kuzmin A. V., Yusin G. S. [Quality of life and quality of spatial environment — social standards and codes in urban planning, architecture and construction]. *Gradostroitel'stvo* [Urban Planning], 2011, no. 4, pp. 16—20.

6. Pryadko I. P., Ivanova Z. I. [Biosphere And social processes in the aspect of formation of urban environment design]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2017, no. 10, pp. 12—17. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30548523>.

7. Akimkin E. M. [Conflict social and urban planning situation]. *Sotsiologiya upravleniya: teoretiko-prikladnoi tolkovyi slovar'* [Sociology of Management: Applied Theoretical Explanatory Dictionary]. Moscow, 2015. Pp. 135—136. URL: <https://www.isras.ru/publ.html?id=3597>.

8. Salakhova V. B., Enyashina N. G., Romanova A. V. [Problem of deviant behavior in the modern society]. *Vlast'* [The Power]. 2016, no. 11, pp. 33—37. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-deviantnogo-povedeniya-v-sovremennom-obschestve>.

9. Gómez F., Montero L., De Vicente V., Sequí A., Castilla N. Vegetation influences on the human thermal comfort in outdoor spaces: criteria for urban planning. *The Sustainable City*. 2008, vol. 117, pp. 151—163. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/3700/07091d7916da68c5f3399e0656cac0714506.pdf>.

10. Popova A. N. [Smart city: threats and development trends in modern society]. *Samoupravlenie* [Self management], 2020, vol. 2, no. 2, pp. 449—452. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43069834>.
11. Ilyichyov V. A. [Biospherical compatibility of nature and human being - the way to systematic solution of global problems]. *Strategicheskie priority* [Strategic Priorities]. 2014, no. 1, pp. 42—58. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23605237>.
12. Azarov V. N., Ivanova Yu. P., Podgainova E. N., Yuritsyna I. A., Ivanova O. O. [On improving the monitoring system for air pollution with carbon monoxide in linear cities]. *Inzhenernyi vestnik Dona* [Engineering Journal of Don]. 2020, no. 5, pp. 26—32. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N5y2020/6431>.
13. Leshchuk S. I., Surkova I. V., Senkevich N. V. [Interrelation of environmental pollution and environmentally caused morbidity in the territory of technogenic pollution]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii Region. Estestvennye nauki* [Bulletin of Higher Education Institutes North Caucasus Region. Natural Science]. 2017, no. 2, pp. 56—62. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vzaimosvyaz-zagryazneniya-okruzhayushey-sredy-i-ekologicheskii-obuslovennoy-zabolevaemosti-naseleniya-na-territorii-tehnogenogo>.
14. Rodrigues M., Franco M. Composite Index to Measure Cities' Creative Performance: An Empirical Study in the Portuguese Context. *Sustainability*, 2019, vol. 11, no. 3, p. 774. doi: 10.3390/su11030774.
15. Madreimov T., Li L. Natural-resource dependence and life expectancy: a nonlinear relationship. *Sustainable development*, 2019, vol. 27, no. 4, pp. 681—691. doi: 10.1002/sd.1932.
16. Danilov-Danilyan V. I. [Global environmental issue and sustainable development]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6: Ekonomika* [Moscow University Economics Bulletin], 2019, no. 4, pp. 8—23. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41141864>.
17. Il'ichev V. A., Emel'yanov S. G., Kolchunov V. I., Gordon V. A., Bakaeva N. V. *Printsipy preobrazovaniya goroda v biosferosovmestimyj i razvivajuschij cheloveka* [The principles of transforming a city into a biospheric compatible and developing person]. Moscow, ASV Publ., 2015. 184 p.
18. Ilyichev V. A., Kolchunov V. I., Bakaeva N. V. [Redevelopment of Urban Areas on the Principles of the Symbiosis of Urban Planning Systems and their Natural Environment]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2018, no. 3, pp. 4—11. URL: <http://www.pgs1923.ru/ru/index.php?m=4&y=2018&v=03&p=01>.
19. Ilyichev V. A., Emelyanov S. G., Kolchunov V. I., Bakayeva N. V., Kobeleva S. A. [Modeling and Analyzing of the Regularities the Dynamics State Change of Biosphere Compatible Urban Areas]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015, no. 3, pp. 3—9. URL: <http://rifsm.ru/editions/journals/2/2015/557/>
20. Ilyichev V. A., Kolchunov V. I., Gordon V. A. [Technique of predicting biosphere compatibility indices for urbanized territories]. *Seismostoitkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Constructions safety]. 2010, no. 2, pp. 52—57. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19122223>.
21. Ilyichev V.A., Kolchunov V.I., Gordon V.A. [To construction of dynamic model opened of the biosphercompatible territories]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Southwest State University], 2011, no. 5-2(38), pp. 16—19. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17263835>.
22. Ilichev V. A., Kolchunov V. I., Gordon V. A. [Mathematical model of dynamics of closed biosphere compartible territory]. *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo universiteta* [Bulletin of the Belarusian-Russian University]. 2012, no. 4. pp. 86—92. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18831257>.
23. Gordon V., Pilipenko O., Bakaeva N. Correlation-regression model of the ecological-demographic situation of an urbanized area. *International Conference on Smart, Sustainable and Sensuous Settlements Transformation (3ssettlements) Proceeding*. 2018. Pp. 63—69.

В. А. Ильичев, В. И. Колчунов, В. А. Гордон, Н. В. Бакаева, А. А. Кормина

24. Gordon V. A., Pilipenko O. V., Poturaeva T. V. Mathematical model of dynamics regional population age structure. 4th International *Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts SGEM-2017*. Sofia, 2017. Pp. 393—400. URL: <https://sgemsocial.org/index.php/elibrary?view=publication&task=show&id=3069>.

25. Vostrov V. K., Tretyakov V. V. [Mathematical models of population dynamics and impact of environmental factors on the population in urban areas]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2015, no. 10, pp. 52—57. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24370329>.

26. Trubetskov D. I. [Phenomenon of Lotka–Volterra mathematical model and similar models]. *Izvestiya Vysshikh uchebnykh zavedeniy. Prikladnaya nelineynaya dinamika* [Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics], 2011, vol. 19, no. 2, pp. 69—88. doi: 10.18500/0869-6632-2011-19-2-69-88.

27. Nepomnyashchii S. V. [Deconsolidation buildings and superdensity of free spaces] *Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii* [Biospheric compatibility: human, region, technologies]. 2020, no. 3, pp. 12—29. URL: http://biosfera.swsu.ru/archive/3_2020.pdf.

© Ильичев В. А., Колчунов В. И., Гордон В. А., Бакаева Н. В., Кормина А. А., 2021

Поступила в декабре 2020

Received in December 2020

Ссылка для цитирования: Динамическая модель численности населения жилого района биосферосовместимого города / В. А. Ильичев, В. И. Колчунов, В. А. Гордон, Н. В. Бакаева, А. А. Кормина // Социология города. 2020. № 4. С. 24—37.

For citation: Ilyichev V. A., Kolchunov V. I., Gordon V. A., Bakaeva N. V., Kormina A. A. [Dynamic model of the population of a residential area of a biospheric compatible city]. *Sotsiologiya Goroda* [Sociology of City], 2020, no. 4, pp. 24—37.