

pISSN 2073-1477  
eISSN 2311-8733

*Устойчивое развитие регионов*

## МОДЕЛЬ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДОВ НАУКИ И ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ С УЧЕТОМ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЕРРИТОРИИ

Сергей Дмитриевич ПРОСКУРНИН

кандидат экономических наук,  
Совет депутатов закрытого административно-территориального образования  
город Железногорск (Совет депутатов ЗАТО г. Железногорск),  
Железногорск, Российская Федерация  
bogger1111@mail.ru  
ORCID: отсутствует  
SPIN-код: 6867-7460

### История статьи:

Рег. № 247/2023  
Получена 01.06.2023  
Получена в  
доработанном виде  
13.06.2023  
Одобрена 23.06.2023  
Доступна онлайн  
17.07.2023

Специальность: 5.2.3

УДК 332.146.2

JEL: O38, R10, R11

### Аннотация

**Предмет.** Циклический характер развития города.

**Цели.** Определение новых направлений развития городов науки и высоких технологий.

**Методология.** Применены методы общего системного и логического анализа, сравнительного и многофакторного анализа, группировки и обобщения, экспертных оценок, оптимального управления.

**Результаты.** Предложена методика построения экономико-математической модели устойчивого развития городов науки и высоких технологий.

**Выводы.** Саморазвивающаяся инновационная экосистема позволит обеспечить устойчивое развитие городов науки в долгосрочной перспективе.

### Ключевые слова:

жизненный цикл,  
циклическое развитие  
городов, устойчивое  
развитие городов

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2023

**Для цитирования:** Проскурнин С.Д. Модель устойчивого развития городов науки и высоких технологий с учетом жизненного цикла территории // Региональная экономика: теория и практика. – 2023. – Т. 21, № 7. – С. 1308 – 1336.  
<https://doi.org/10.24891/re.21.7.1308>

В последнее время устойчивому развитию городов уделяется особое внимание со стороны как зарубежных, так и российских исследователей. Вопросам устойчивого развития городов посвящены повестки сессий ООН, на которых сформулированы основные цели и базовые принципы (ESG).

Под устойчивым развитием городов понимается многовекторная модель, учитывающая влияние социальных и экологических факторов, а также роль

государства в создании условий, удовлетворяющих ожиданиям жителей городов с учетом перечисленных факторов. Тем не менее, автором сделано предположение и дано обоснование, что модель устойчивого развития городов должна включать в себя и факторы пространственного развития территории как среды обитания горожан [1].

Необходимо отметить, что существует мировая тенденция к увеличению количества городов и численности городского населения, что приводит к пространственному изменению парадигмы развития городов с увеличивающейся плотностью застройки и, как следствие, к освоению дополнительных городских пространств вверх, вниз и вширь. Для пространственного развития городов характерно активное включение в различные агломерационные процессы. Особо остро встает вопрос о роли и перспективах развития городов науки и высоких технологий. Этот интерес в первую очередь связан с важной ролью науки в технологическом прогрессе, что обуславливает значительный интерес ученых к городам науки и высоких технологий и требует более глубокого и всестороннего исследования феномена таких городов. При исследовании городов науки необходимо рассматривать город как явление, обладающее стадийными характеристиками развития.

В работах современных исследователей феномена городов эволюционное развитие чаще всего рассматривается через пространственное развитие территории. Под понятием «пространственное развитие» понимается деятельность, направленная на развитие территории через координацию процессов размещения населения и производительных сил [1–10]. В настоящее время многие страны сталкиваются с тенденцией концентрации населения в городах, и, согласно прогнозам демографов ООН, эта тенденция сохранится до 2030-х гг.

Одним из механизмов оптимального размещения населения и производительных сил является агломерация, связанная со сформировавшимися поселениями вокруг крупных городов. В работе Г.М. Лаппо отмечается, что современная градостроительная наука рассматривает агломерацию как ключевую форму расселения<sup>1</sup>. Понятие «агломерация» также играет важную роль при изучении крупных городов и мегаполисов. Одна из особенностей городов науки и высоких технологий заключается в достаточно близком расположении к крупным городам, поэтому необходимо рассматривать экзогенные факторы влияния, обусловленные агломерационными процессами. Прежде всего это

<sup>1</sup> Лаппо Г.М. Агломерации России, инновационный потенциал страны // Градостроительство. 2011. № 1. С. 46–49.

маятниковая миграция и влияние научных учреждений на развитие малых городов, включенных в агломерацию.

Использование эволюционного подхода к развитию города позволяет обосновать его особый жизненный цикл и выделить определенные этапы развития: возникновение, развитие, стабильная фаза, стагнация и упадок. Таким образом, изучение жизненного цикла города важно для формирования стратегии его устойчивого развития, а также для принятия оптимальных управленческих решений, направленных на сохранение и укрепление его конкурентоспособности в долгосрочной перспективе.

Считается, что термин «жизненный цикл» впервые был использован в конце XIX в. при изучении развития живых организмов<sup>2</sup>, однако ряд ученых утверждают, что исследования по жизненному циклу встречаются в более ранних работах [2] и затрагивают социально-экономические аспекты<sup>3</sup>. В *табл. 1* представлена эволюция развития термина «жизненный цикл», применяемого к различным объектам экономических взаимоотношений.

Изучение жизненного цикла муниципальных и региональных территориальных систем получило развитие значительно позже, когда ученые пришли к выводу что территориальные экономические системы играют особую роль в развитии национальных экономических систем в целом (*табл. 2*).

Основополагающим исследованием жизненного цикла города является работа Дж. Форрестера [6], в которой впервые представлена математическая модель развития города, учитывающая три взаимосвязанных направления: экономику, городское пространство и динамику численности населения города.

Исследователь П.А. Ореховский выделяет следующие фазы жизненного цикла города: развитие (интенсивный рост), рост (замедляющийся рост), стагнация, упадок<sup>4</sup>. Переход из одной фазы в другую происходит

---

<sup>2</sup> Широкова Г.В., Клемина Т.П., Козырева Т.П. Концепция жизненного цикла в современных организационных и управленческих исследованиях // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 8. Менеджмент. 2007. № 2. С. 3–31.  
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-zhiznennogo-tsikla-v-sovremennyh-organizatsionnyh-i-upravlencheskih-issledovaniyah-1/viewer>

<sup>3</sup> Clair M.W. *Business Cycles*. University of California Press, 1913, 610 p.; Кондратьев Н.Д. *Большие циклы и конъюнктуры: доклады и обсуждения в Институте экономики*. М: Красная Пресня, 1928. 287 с.; Кассель Г. *Основные идеи теоретической экономики*. Л.: Прибой, 1929. 109 с.

<sup>4</sup> Ореховский П.А. *Муниципальный менеджмент*. М.: Московский общественный научный фонд, 1999. 117 с.

естественным путем. Для изменения состояния экономической системы требуются экзогенные или эндогенные воздействия.

В работе И.Д. Тургель проведен анализ основных траекторий развития российских городов<sup>5</sup>. Не менее важны результаты, полученные в работе О.А. Биякова [7]. В этой работе выделены этапы развития социально-экономического пространства города, описаны его составные элементы, позволяющие обеспечить концентрацию экономического пространства, синхронизацию экономических процессов, конкуренцию экономических субъектов.

Анализ исторического опыта показывает, что жизненный цикл города не может быть представлен в виде простой монотонно возрастающей или убывающей функции от времени. В общем случае это сложное взаимодействие циклических подъемов и спадов<sup>6</sup>. Для изучения устойчивого развития города важно оценить его адаптационные возможности, то есть способность реагировать на внутренние и внешние возмущающие факторы. История городских поселений изобилует примерами, когда центры развития утрачивали свое влияние, не ответив на вызовы внешней среды в силу ряда объективных причин. Однако жизненный цикл муниципальных территориальных систем изучен недостаточно.

Понятие «жизненный цикл» напрямую связано с явлением цикличности. Большинство ученых сходятся во мнении, что жизненный цикл является основным проявлением цикличности любой экономической системы [11–21]. Изначально в классических теориях экономических циклов кризисы перепроизводства рассматривались как случайные отклонения от нормального состояния экономики<sup>7</sup> (табл. 3). На макроэкономическом уровне экономический цикл трактуется как совокупность колебаний ряда важнейших показателей: занятости, объема продукции, уровня цен. Также экономическим циклом называется промежуток времени между двумя экстремумами основных показателей состояния экономической системы.

---

<sup>5</sup> Тургель И.Д. Теоретико-методические аспекты исследования жизненного цикла города // Научный вестник Уральской академии государственной службы: политология, экономика, социология, право, 2008. № 3. С. 94–104.

<sup>6</sup> Анимица Е.Г., Дубнов А.П., Коваль Л.В. Жизненный цикл ЗАТО: фазы адаптации к рыночной динамике. В кн.: Циклы: материалы четвертой международной конференции. Ставрополь: Северо-Кавказский государственный технический университет, 2002. С. 18.

<sup>7</sup> Туган-Барановский М.И. Русская фабрика в прошлом и настоящем. Историко-экономическое исследование. СПб., 1900. 561 с.

Особый интерес при рассмотрении возможности применения цикличности к жизненному циклу городов приобретает изучение влияния эндогенных и экзогенных факторов. Оценивая эндогенные факторы, исследователи рассматривают изменение внутренних параметров экономической системы, таких как активность, технологические инновации, регулирование, а также изменение демографических и социальных условий. Оценивая экзогенные факторы, ученые уделяют внимание внешним воздействиям – изменениям в мировой экономике, политическим кризисам, природным катастрофам и др.

Изучение цикличности на микроэкономическом уровне началось с середины XX в. Результаты исследований жизненного цикла товаров, предприятий и отраслей<sup>8</sup> становятся важным вкладом в понимание цикличности развития территориальных социально-экономических систем, разновидностью которых являются и городские поселения (табл. 4).

Обобщая результаты анализа цикличности как основной функции социально-экономического развития (поведения) города, можно дать следующее определение жизненного цикла города. Жизненный цикл городского поселения – это наблюдаемое проявление свойства цикличности состояния социально-экономической системы города под воздействием экзогенных и эндогенных факторов, изменяющих ее состояние. Жизненный цикл городского поселения не ограничивается только социально-экономическими характеристиками территории. Не менее важными являются ее пространственные характеристики.

Также необходимо отметить, что в настоящий момент слабо изучено влияние основных факторов и механизмов на динамическое состояние городских территориальных систем. Исходя из теории цикличности при изучении жизненного цикла городского поселения специалисты выделяют следующие этапы (фазы): интенсивное развитие, замедляющийся рост, стагнация, упадок. В работе П.А. Ореховского подробно описаны данные этапы (фазы) жизненного цикла города. Для получения экономико-математического описания каждого из этапов введем следующие обозначения:

- $t$  – время исследования (как правило, текущий год);
- $t-1$  – предыдущий интервал исследования (как правило, предыдущий год);

---

<sup>8</sup> *Hawtrey R.G. Trade and Credit. London; New York, Green and Co., 1928, 189 p.*

- $I_e(t)$  – инвестиции в производство в текущем году;
- $I_h(t)$  – инвестиции в жилищное строительство в текущем году;
- $I_c(t)$  – инвестиции в городскую среду в текущем году;
- $I_e^{max}$  – минимальный объем инвестиций в производство, обеспечивающий интенсивное развитие города и создание дополнительных рабочих мест;
- $I_h^{max}$  – минимальный объем инвестиций в жилищное строительство, обеспечивающий жильем дополнительные рабочие места;
- $I_c^{max}$  – минимальный объем инвестиций в общественные пространства, обеспечивающий создание дополнительных общественных благ для удовлетворения потребностей и ожиданий горожан;
- $I_e^{min}$  – минимальный объем инвестиций в производство, обеспечивающий развитие города и создание дополнительных рабочих мест;
- $I_h^{min}$  – минимальный объем инвестиций в жилищное строительство, обеспечивающий его удовлетворительное состояние;
- $I_c^{min}$  – минимальный объем инвестиций в общественные пространства, обеспечивающий их удовлетворительное состояние;
- $S_h(t)$  – общая площадь жилья в текущем году;
- $S_c(t)$  – объем общественных благ в текущем году;
- $S_b(t)$  – объем ветхого и аварийного жилья в текущем году;
- $s_h(t-1)$  – средняя площадь жилья на 1 чел. в прошлый период;
- $N_c(t)$  – количество жителей города в текущем году;
- $N_j(t)$  – количество рабочих мест в текущем году;
- $\Delta N_m(t)$  – внешняя миграция (увеличение количества жителей за счет приезжих) в текущем году;
- $J_c(t)$  – безработица в городе в текущем году;
- $J_e(t)$  – естественный уровень безработицы в текущем году.

Интенсивный рост – состояние, которое характеризуется большим объемом инвестиций как в производство, так и в городскую и жилищную среду. При этом общая площадь жилья и объем общественных благ увеличиваются быстрее количества жителей и рабочих мест. Наблюдается дефицит рабочих мест и отсутствует безработица, что стимулирует высокую внешнюю миграцию. В данном случае модель будет описана уравнениями:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_e(t) \geq I_e^{max} \\ I_h(t) \geq I_h^{max} \\ I_c(t) \geq I_c^{max} \\ S_h(t) \geq s_h(t-1) \cdot N_c(t) \\ S_h(t) \geq S_h(t-1) \\ S_c(t) \geq S_c(t-1) \\ S_b(t) = 0 \\ J_c(t) \leq J_e \\ N_j(t) - N_j(t-1) \geq \Delta N_m(t) \\ \Delta N_m(t) > 0 \end{array} \right. .$$

Замедляющийся рост – состояние города, которое характеризуется недостаточным объемом инвестиций в производство, что приводит к прекращению развития базовых предприятий, и недостаточным объемом инвестиций в городскую и жилищную среду, что способствует отставанию развития городской среды от ожиданий горожан. При этом количество жителей и рабочих мест растет быстрее, чем общая площадь жилья и объем общественных благ, что замедляет темпы внешней миграции. Тем не менее безработица отсутствует. Модель представлена в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_e^{min} \leq I_e(t) \leq I_e^{max} \\ I_h^{min} \leq I_h(t) \leq I_h^{max} \\ I_c^{min} \leq I_c(t) \leq I_c^{max} \\ S_h(t) \geq s_h(t-1) \cdot N_c(t) \\ S_h(t) \leq S_h(t-1) \\ S_c(t) \leq S_c(t-1) \\ S_b(t) = 0 \\ J_c(t) \leq J_e \\ N_j(t) - N_j(t-1) \geq \Delta N_m(t) \\ \Delta N_m(t) \geq 0 \end{array} \right. .$$

Стагнация – состояние города, которое характеризуется незначительным уровнем инвестиций в производство, что приводит к значительному уменьшению количества рабочих мест, и в городскую и жилищную среду. Состояние городской среды начинает ухудшаться, а разрывы между количеством рабочих мест и общей площадью жилья, количеством рабочих мест и объемом общественных благ достигают таких значений, что внешняя миграция прекращается. Безработица – выше естественного уровня. Обобщая, можно записать модель:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_e(t) \leq I_e^{min} \\ I_h(t) \leq I_h^{min} \\ I_c(t) \leq I_c^{min} \\ S_h(t) \leq s_h(t-1) \cdot N_c(t) \\ S_h(t) \leq S_h(t-1) \\ S_b(t) \geq 0 \\ J_c(t) \geq J_e \\ N_j(t) - N_j(t-1) \geq \Delta N_m(t) \\ \Delta N_m(t) = 0 \end{array} \right. .$$

Упадок – состояние города, которое характеризуется старением предприятий или исчерпанием ресурсов, что ставит вопрос о закрытии предприятий, полным отсутствием инвестиций в производство и в городскую среду, что приводит к ухудшению жилищных условий, увеличению объемов ветхого жилья, снижению уровня предоставляемых общественных благ. Неблагоприятная экологическая обстановка, отсутствие и/или существенное сокращение рабочих мест приводят к оттоку населения. Уравнения примут вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_e(t) = 0 \\ I_h(t) = 0 \\ I_c(t) = 0 \\ S_h(t) \leq s_h(t-1) \cdot N_c(t) \\ S_h(t) \leq S_h(t-1) \\ S_c(t) \leq S_c(t-1) \\ S_b(t) \geq 0 \\ J_c(t) \geq J_e \\ N_j(t) - N_j(t-1) \geq \Delta N_m(t) \\ \Delta N_m(t) \leq 0 \end{array} \right. .$$

Для определения ключевых инструментов, обеспечивающих устойчивое развитие городов, прежде всего требуется определить фазу жизненного цикла и подобрать соответствующие механизмы управления. Необходимо помнить, что фаза интенсивного развития краткосрочна, и уже на этой стадии следует подбирать инструменты по ее «удержанию». Фаза замедляющегося роста предполагает разработку стратегии развития города с учетом изменяющейся внешней конъюнктуры рынков. Руководство города должно прорабатывать вопросы поиска дополнительных инвесторов, заинтересованных в модернизации базовых предприятий, в развитии бизнес-проектов, учитывающих функциональную специализацию города. Этапы стагнации и упадка требуют перехода к фазе замедляющегося роста и разработки безотлагательных мер по поиску новых точек роста, инвестиционных проектов даже с учетом функционального перепрофилирования территории.

Для построения экономико-математической модели жизненного цикла города с учетом явления цикличности представляет интерес работа И.Д. Тургель, посвященная анализу существующих траекторий развития российских городов<sup>9</sup>. В работе описаны основные варианты динамики их социально-экономических показателей (рис. 1–4).

Модель данных траекторий описывается решением однородного или неоднородного линейного дифференциального уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами. Неоднородное уравнение имеет вид

$$\frac{d^2 x_i(t)}{d^2 t} + a_i \frac{d x_i(t)}{dt} + b_i \cdot x_i(t) = f_i(t), x_i(t_0) = x_{0i}. \quad (1)$$

В случае  $f_i(t) = 0$  уравнение становится однородным и имеет вид

$$\frac{d^2 x_i(t)}{d^2 t} + a_i \frac{d x_i(t)}{dt} + b_i \cdot x_i(t) = 0, x_i(t_0) = x_{0i}, \quad (2)$$

где  $x_i(t)$  –  $i$ -показатель, описывающий жизненный цикл города,  $i \in [1, n]$ ;  $n$  – количество показателей, описывающих жизненный цикл города;  $t$  – время;  $a_i, b_i$  – постоянные коэффициенты в уравнении модели  $i$ -показателя;  $f_i(t)$  – функция неоднородного уравнения модели  $i$ -показателя, которая имеет смысл экзогенного воздействия, а в терминах систем управления – возмущающего или управленческого воздействия.

<sup>9</sup> Тургель И.Д. Теоретико-методические аспекты исследования жизненного цикла города // Научный вестник Уральской академии государственной службы: политология, экономика, социология, право, 2008. № 3. С. 94–104.

Наиболее удобно записать систему (1) в матричном виде:

$$X_i'(t) = A_0 \cdot X_i(t) + B_0 \cdot f(t), \quad (3)$$

где

$$A_0 = \begin{bmatrix} -a_i & -b_i \\ 1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$B_0 = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$X_i(t) = \begin{bmatrix} x_i'(t) \\ x_i(t) \end{bmatrix}.$$

В общем виде решение уравнения (2) можно записать в виде:

$$x_i(t) = c_{1i} + e^{\alpha_i t}$$

Параметры  $\alpha$  и  $\omega$  определяются из решения уравнения

$$\lambda^2 + a_i \lambda + b_i = 0,$$

$$\lambda_{1,2} = \frac{-a_i}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a_i^2}{4} - b_i\right)},$$

$$\alpha_i = \begin{cases} \frac{-a_i}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a_i^2}{4} - b_i\right)}, & \text{если } \left(\frac{a_i^2}{4} - b_i\right) \geq 0 \\ \frac{-a_i}{2}, & \text{если } \left(\frac{a_i^2}{4} - b_i\right) < 0 \end{cases},$$

$$\omega_i = \begin{cases} 0, & \text{если } \left(\frac{a_i^2}{4} - b_i\right) \geq 0 \\ \sqrt{\left(b_i - \frac{a_i^2}{4}\right)}, & \text{если } \left(\frac{a_i^2}{4} - b_i\right) < 0 \end{cases},$$

$$c_{1i} = x_{0i} - c_{3i}.$$

В силу того, что чаще всего функция имеет вид

$$-f_i(t) = d_{1i} + d_{2i} \cdot t, \quad (5)$$

то решение неоднородного уравнения (1) можно искать в виде:

$$x_i(t) = c_{1i} + c_{2i} \cdot t + e^{\alpha_i t}. \quad (6)$$

В общем решение уравнений (1) и (2) можно записать в виде:

$$x_i(t) = x_i^{\text{неод}}(t) + x_i^{\text{однор}}, \quad (7)$$

$$x_i^{\text{неод}}(t) = c_{1i} + c_{2i} \cdot t, \quad (8)$$

$$x_i^{\text{однор}}(t) = e^{\alpha_i t}. \quad (9)$$

С учетом данных решений рассмотрим варианты траекторий жизненного цикла, предложенных И.Д. Тургель. Траектория устойчивого развития характеризуется сменой периода подъема периодом стабилизации после достижения изначально запланированных показателей уровня социально-экономической активности. В большинстве случаев это характерно для городов, которые сталкиваются с серьезными ограничениями емкости внешнего или внутреннего рынка организаций градообразующего сектора:

$$x_i(t) = c_{1i} - c_{2i} \cdot e^{\alpha_i t}, \quad (10)$$

где  $c_{1i}, c_{2i}$  – постоянные коэффициенты;  $\alpha_i$  коэффициент диссипации  $i$ -показателя.

Траектория развития с выраженными повторяющимися циклами характеризуется тем, что каждый цикл обеспечивает переход к новой стадии развития. Подобная динамика наиболее благоприятна для города. Она возникает в том случае, когда градообразующий сектор оказывается способным реагировать на экзогенные вызовы с учетом современных технологических переделов:

$$x_i(t) = c_{1i} + c_{2i} \cdot t + c_{3i} \cos \omega_i t + c_{4i} \sin \omega_i t, \quad (11)$$

где  $\omega_i = \frac{2\pi}{T_i}$  – скорость цикличности;  $T_i$  – период цикличности.

Траектория с повторными циклами характеризуется тем, что за первоначальным подъемом следует еще один, менее выраженный, а затем наступает фаза стабилизации. Это возможно при условии существования стабильного спроса на продукцию градообразующего сектора, изменения которого объясняются текущими колебаниями экономической конъюнктуры:

$$x_i(t) = c_{1i} + c_{3i} \cos \omega_i t + c_{4i} \sin \omega_i t. \quad (12)$$

Траектория с явно выраженными периодами расцвета и упадка – наиболее неблагоприятная форма динамики городского развития. Она встречается в ситуациях, когда общественные потребности, стимулировавшие появление города, не носят долгосрочного характера. С точки зрения хозяйственной специализации, подобная траектория жизненного цикла наблюдается в тех случаях, когда градообразующие предприятия связаны с разработкой и освоением природных ресурсов:

$$x_i(t) = c_{1i} + c_{3i} \cos \omega_i t + c_{4i} \sin \omega_i t \quad (13)$$

на интервале времени  $t \in [0, \pi/T]$ .

Необходимо отметить, что при отсутствии целенаправленного воздействия на развитие города переход его из одной фазы в другую происходит стихийно, естественным путем.

Знание цикличности ряда параметров позволяет прогнозировать динамику ключевых параметров развития муниципальной территории, но не позволяет управлять этими параметрами. Учитывая, что управление экономическими параметрами чаще всего осуществляется инвестициями и капитальными вложениями, то модель жизненного цикла можно представить в виде:

$$\frac{d^2 x_i(t)}{dt^2} + a_i \frac{d x_i(t)}{dt} + b_i \cdot x_i(t) = f_i(I), \quad (14)$$

где  $I$  – инвестиции, направленные на развитие данной городской территории.

Рассчитаем постоянные коэффициенты уравнения модели (6)  $c_{1i}, c_{2i}, c_{3i}, c_{4i}, \alpha, \omega$  из временных рядов параметров  $x_i(t)$  с использованием алгоритма Левенберга–Марквардта, предназначенного для оптимизации параметров нелинейных регрессионных моделей.

В общем виде полученная модель будет иметь вид:

$$\tilde{x}_i(t) = c_{1i} + c_{2i} \cdot t + e^{\alpha \cdot t}$$

С целью оценки качества полученной модели воспользуемся коэффициентом детерминации, вычисляемым по формуле

$$R_i = \sqrt{1 - \sigma_{ie}^2 / \sigma_{ix}^2},$$

где

–  $\sigma_{ie} = \sqrt{\frac{1}{l} \sum_{j=1}^l (x_i(j) - \tilde{x}_i(t))^2}$  – среднее квадратическое отклонение показателя от значений модели;

–  $\sigma_{ix} = \sqrt{\frac{1}{l} \sum_{j=1}^l (x_i(j) - x_i^{cp})^2}$  – среднее квадратическое отклонение  $i$ -показателя от среднего значения  $x_i^{cp}$ ;

–  $x_i(j)$  – значение  $i$ -показателя за период времени  $j$ ;

– значение  $i$ -показателя, вычисленного по модели за период времени  $j$ ;

–  $l$  – количество наблюдений показателей  $j \in [1, l]$ ;

–  $x_i^{cp} = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l x_i(j)$  – среднее значение показателя.

Качество модели будем считать удовлетворительным, если значение коэффициента детерминации  $R_i \geq 0,9$ .

Учитывая полученные параметры  $c_{1i}, c_{2i}, c_{3i}, c_{4i}, \alpha, \omega$  можем получить параметры исходной динамической непрерывной модели (1):

$$a_i = \begin{cases} a_i = 0, & \text{если } \alpha_i = 0 \\ a_i = -2\alpha_i, & \text{если } \omega_i = 0 \\ a_i = -2\alpha_i, & \text{если } \alpha_i \neq 0, \omega_i \neq 0 \end{cases},$$

$$b_i = \begin{cases} b_i = \omega_i^2, & \text{если } \alpha_i = 0 \\ b_i = \alpha_i^2, & \text{если } \omega_i = 0 \\ b_i = \alpha_i^2 - \omega_i^2, & \text{если } \alpha_i \neq 0, \omega_i \neq 0 \end{cases}.$$

Полученную циклическую непрерывную модель для поиска оптимального решения удобно привести к дискретному виду:

$$X(t+1) = A \cdot X(t) + B \cdot I(t). \quad (16)$$

Вектор модели примет вид

$$X(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ \dots \\ x_n(t) \end{pmatrix}.$$

Вектор управления (инвестиций) имеет вид

$$I(t) = \begin{pmatrix} I_1(t) \\ \dots \\ I_m(t) \end{pmatrix},$$

где  $m$  – размерность вектора инвестиций (управляющего воздействия).

В общем случае решение уравнения (3) и приведение его к виду (16) можно записать [29]:

$$A = e^{A_0 T},$$

$$B = \int_0^T e^{A_0 \cdot (T-\tau)} \cdot B_0 \cdot d\tau.$$

Необходимо отметить, что процедура формирования управления данным процессом с использованием экономико-математических моделей прежде всего предполагает на начальном этапе выбор структуры системы управления, а затем поиск оптимальных параметров управления данной моделью. Обязательным и необходимым условием устойчивого развития города является выделение или поиск точек роста внутри городской территории.

В работе П.А. Иванова [19] предложены показатели для количественного определения стадий жизненного цикла территории, которые можно использовать для формирования экономико-математических моделей и предельных пороговых величин значений показателей (табл. 5). Данные показатели выбраны исходя из их сопоставления с аналогичными показателями, используемыми в других странах, и из комплексного анализа причинно-следственных взаимосвязей индикаторов социально-экономического развития России<sup>10</sup> [20].

<sup>10</sup> Татаркин А.И., Куклин А.А., Мызин А.Л. и др. Комплексная методика диагностики экономической безопасности территориальных образований Российской Федерации. М.; Екатеринбург: Институт экономики Уральского отделения РАН, 1998. 121 с.

Из анализа лучших международных и российских практик можно сделать вывод, что для территории науки и высоких технологий в России существуют два вектора развития:

- основной – развитие «центров превосходства» в целях разработки современной научно-технической продукции, обеспечивающей технологическую независимость страны и достижение высших результатов на основе интеграции фундаментальной науки и передовых отраслей;
- вспомогательный (не менее важный) – создание условий для привлечения, обучения и удержания талантливых ученых<sup>11</sup>.

Наличие центра научно-технологического лидерства и сформированного стабильного спроса на производимую им продукцию – необходимое базовое условие устойчивого развития городов науки и высоких технологий. Автор в работе [21] предлагает разработать саморазвивающуюся инновационную экосистему города, которая позволит оперативно реагировать на экзогенные и эндогенные факторы, эволюционно сформировать все основные структурные, институциональные и инфраструктурные элементы, обеспечить тесную связь между ними и устойчивое функционирование системы (города науки и высоких технологий) в целом.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что наиболее информативным показателем развития города является динамика численности населения (рождаемость, миграция). Она показывает отношение горожан к условиям развития территории. Для городов науки и высоких технологий важна динамика численности населения в целом, причем в наибольшей степени – движение квалифицированных высокопрофессиональных кадров.

В данной работе проанализированы исследования зарубежных и российских авторов, посвященные устойчивому развитию городов, их жизненному циклу<sup>12</sup>. В качестве объекта исследования выбраны малые города науки и высоких технологий. С учетом проведенных исследований

<sup>11</sup> Гаркушенко В.И., Дегтярев Г.Л. Теория автоматического управления: учебное пособие. Казань: Казанский государственный технический университет, 2010. 274 с.

<sup>12</sup> Митяков С.Н., Сенчагов В.К. Индикаторы устойчивого развития регионов Российской Федерации. В кн.: Проблемы устойчивости функционирования стран и регионов в условиях кризисов и катастроф современной цивилизации: материалы XVII Международной научно-практической конференции по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2012. С. 83–99.

предложены методические подходы к формированию экономико-математической модели города с учетом жизненного цикла. Предложено математическое описание основных этапов жизненного цикла, что позволяет сформировать оптимальную модель управления на каждом этапе. Кроме этого, выбраны основные параметры, характеризующие устойчивое управление динамической социально-экономической системой города.

Важным вопросом, требующим дальнейших исследований, является выбор структуры управления городами науки и высоких технологий и подбор оптимальных с точки зрения достижения заданной цели параметров управления. В качестве структуры управления необходимо рассматривать саморазвивающуюся инновационную экосистему городов науки, позволяющую обеспечить устойчивое развитие в долгосрочной перспективе.

**Таблица 1**  
Эволюция термина «жизненный цикл» (XX в.)

**Table 1**  
Evolution of the term *Life Cycle* (20th century)

Даты	Авторы	Предметы исследований
1950	К. Боулдинг	Жизненный цикл предприятия
1965	Т. Левитт	Жизненный цикла товара
1980	М. Портер	Жизненный цикла отрасли

*Источник:* авторская разработка

*Source:* Authoring

**Таблица 2**  
Эволюция основных направлений исследования жизненных циклов городов (XX–XXI вв.)

**Table 2**  
Evolution of the main directions of the study of the life cycles of cities (20th–21st centuries)

Даты	Авторы	Предметы исследований
1974	Дж. Форестер	Жизненный цикл городской территории
1999	П.А. Ореховский	
2008	И.Д. Тургель	
2002	Е.Г. Анимича и др.	Жизненный цикл закрытого административно-территориального образования ГК «Росатом»
2004	О.А. Бияков	Жизненный цикл городского пространства
2014	О.В. Звягина	Жизненный цикл
2015	С.А. Баканов	старопромышленных районов
2015	А.Н. Дулесов, Д.В. Бехтерев	Жизненный цикл моногородов

*Источник:* авторская разработка

*Source:* Authoring

**Таблица 3****Эволюция исследований цикличности на макроэкономическом уровне (XIX–XX вв.)****Table 3****Evolution of cyclicity studies at the macroeconomic level (19th–20th centuries)**

<b>Даты</b>	<b>Авторы</b>	<b>Теории, определения</b>
1900	М.И. Туган-Барановский	Теория предельной полезности и основы теории перенакопления капитала
1913	У.К. Митчелл	Экономические циклы – это колебания совокупной экономической деятельности
1922	И. Фишер	Концепция кредитно-денежного цикла
1928	Р.Дж. Хоутри	
1928	Н.Д. Кондратьев	Теория экономических циклов
1929	К.Г. Кассель	Модель мультициклического развития

*Источник:* авторская разработка

*Source:* Authoring

**Таблица 4****Эволюция исследований цикличности на региональном и городском уровне (XX–XXI вв.)****Table 4****Evolution of cyclicity studies at the regional and city levels (20th–21st centuries)**

<b>Даты</b>	<b>Авторы</b>	<b>Теории, объекты исследования, основные выводы</b>
1961	Ф. Перру	Теория полюсов роста. Цикличность развития регионов
1970	Ж. Будвиль	
1969	Х.Р. Ласуэн	
1968	Т. Хегерstrand	Теории диффузии инноваций. Цикличность развития региона обуславливается неравномерностью пространственной диффузии инноваций. Выделяются стадии: появление нового продукта, рост производства, насыщение, сокращение
1966	Р. Вернон	Концепция международного цикла товара. Выделены этапы жизненного цикла товара: внедрение на рынок, рост продаж, зрелость (насыщение рынка), спад продаж. На этапе внедрения и роста размещение происходит в промышленно развитой стране. На этапе зрелости – в странах, в которых имеется возможность экономии издержек. На этапе упадка – преимущественно в развивающихся странах
1974	Дж. Форрестер	Анализ цикличности процессов в крупных городах на примере Бостона. Впервые описана математическая модель развития города, состоящая из трех блоков: экономика, городское пространство и динамика численности населения города
2005	М. Портер	Анализ цикличности различных городских районов
2005	Ф. Котлер	Классификация городских территорий: развивающиеся; имеющие возможность возрождения; возрождающиеся; территории в состоянии неустойчивого равновесия; умирающие

*Источник:* авторская разработка

*Source:* Authoring

**Таблица 5****Система экономических, социальных и экологических индикаторов, позволяющих идентифицировать стадии жизненного цикла города****Table 5****A system of economic, social and environmental indicators to identify the stages of the city's life cycle**

<b>Индикаторы</b>	<b>Предельные значения индикаторов на различных стадиях жизненного цикла города интенсивное развитие</b>
Темп прироста валового продукта, %	–(5–10)
Среднегодовой темп прироста производительности труда, %	–(6–12)
Износ основных фондов, %	0–10
Безработица, %	0–1
Коэффициент фондов, раз	<3
Инновационная активность организаций, %	>50
Естественный прирост населения (на 1 000 жителей)	>20
Миграционный прирост населения (на 1 000 жителей)	>10
Размер жилья на 1 жителя, м <sup>2</sup>	<20
Обеспеченность врачами, на 10 тыс. чел. населения	<30 (<40)
Объем выбросов в атмосферу от стационарных источников, т/ км <sup>2</sup>	<0,2
Доля инвестиций в капитал в валовом продукте, %	>40

*Продолжение*

<b>Индикаторы</b>	<b>Предельные значения индикаторов на различных стадиях жизненного цикла города замедляющееся развитие</b>
Темп прироста валового продукта, %	>10
Среднегодовой темп прироста производительности труда, %	>12
Износ основных фондов, %	10–30
Безработица, %	1–4
Коэффициент фондов, раз	3–6
Инновационная активность организаций, %	>50
Естественный прирост населения (на 1 000 жителей)	12,5–20
Миграционный прирост населения (на 1 000 жителей)	2–10
Размер жилья на 1 жителя, м <sup>2</sup>	20–25
Обеспеченность врачами, на 10 тыс. чел. населения	30–40 (40–55)
Объем выбросов в атмосферу от стационарных источников, т/ км <sup>2</sup>	0,2–0,5
Доля инвестиций в основной капитал в валовом продукте, %	30–40

*Продолжение*

<b>Индикаторы</b>	<b>Предельные значения индикаторов на различных стадиях жизненного цикла города</b>
	<b>стагнация</b>
Темп прироста валового продукта, %	5–10
Среднегодовой темп прироста производительности труда, %	6–12
Износ основных фондов, %	30–40
Безработица, %	4–5
Коэффициент фондов, раз	6–8
Инновационная активность организаций, %	20–50
Естественный прирост населения (на 1 000 жителей)	5–12,5
Миграционный прирост населения (на 1 000 жителей)	1,1–2
Размер жилья на 1 жителя, м <sup>2</sup>	25–30
Обеспеченность врачами, на 10 тыс. чел. населения	>40 (>50)
Объем выбросов в атмосферу от стационарных источников, т/ км <sup>2</sup>	0,5–0,6
Доля инвестиций в основной капитал в валовом продукте, %	25–30

*Продолжение*

<b>Индикаторы</b>	<b>Предельные значения индикаторов на различных стадиях жизненного цикла города</b>
	<b>упадок</b>
Темп прироста валового продукта, %	<5
Среднегодовой темп прироста производительности труда, %	<6
Износ основных фондов, %	>40
Безработица, %	>5
Коэффициент фондов, раз	>8
Инновационная активность организаций, %	<20
Естественный прирост населения (на 1 000 жителей)	<5
Миграционный прирост населения (на 1 000 жителей)	<1,1
Размер жилья на 1 жителя, м <sup>2</sup>	<25
Обеспеченность врачами, на 10 тыс. чел. населения	30–40 (40–55)
Объем выбросов в атмосферу от стационарных источников, т/ км <sup>2</sup>	<0,6
Доля инвестиций в основной капитал в валовом продукте, %	<25

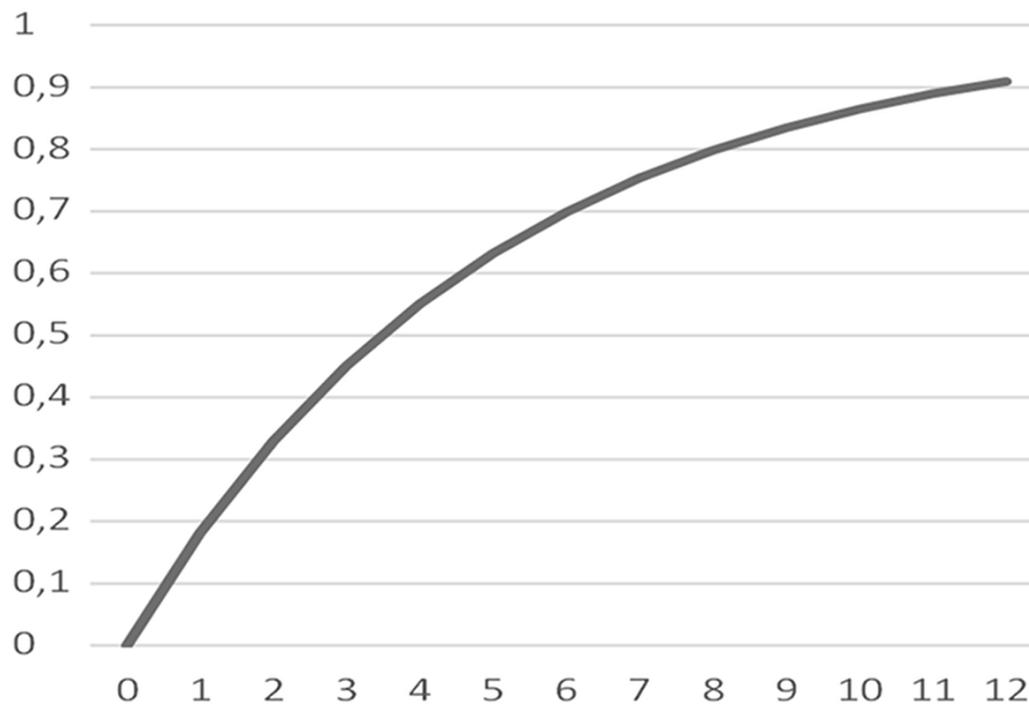
*Источник:* [19]*Source:* [19]

**Рисунок 1**

**Жизненный цикл города: траектория устойчивого развития**

**Figure 1**

**The life cycle of the city: The trajectory of sustainable development**



*Источник:* авторская разработка

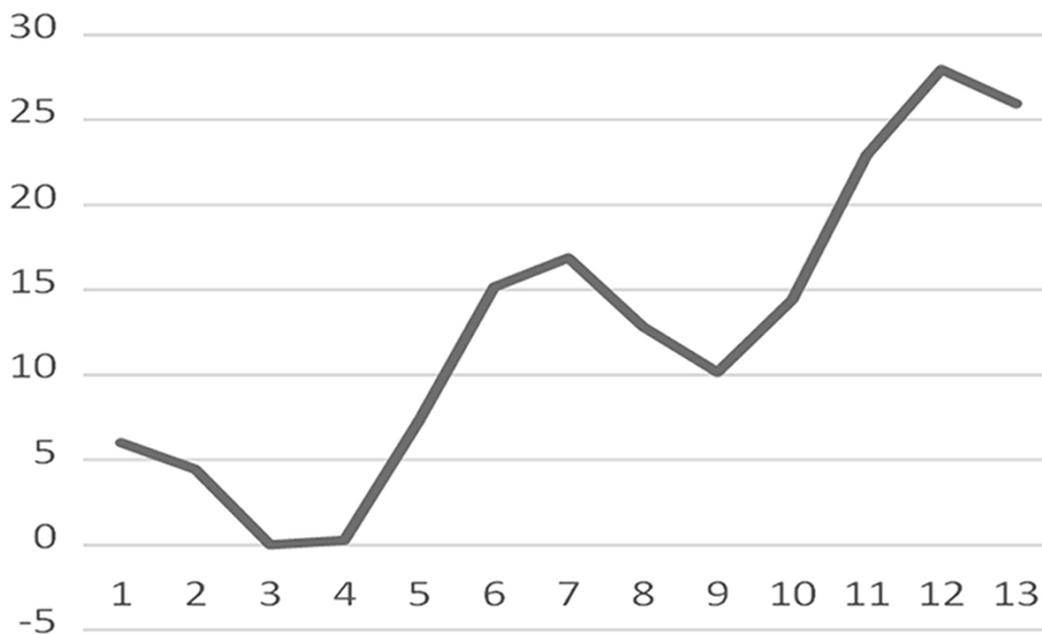
*Source:* Authoring

**Рисунок 2**

**Жизненный цикл города: траектория развития с выраженными повторяющимися циклами**

**Figure 2**

**The life cycle of the city: The trajectory of development with pronounced repetitive cycles**



*Источник:* авторская разработка

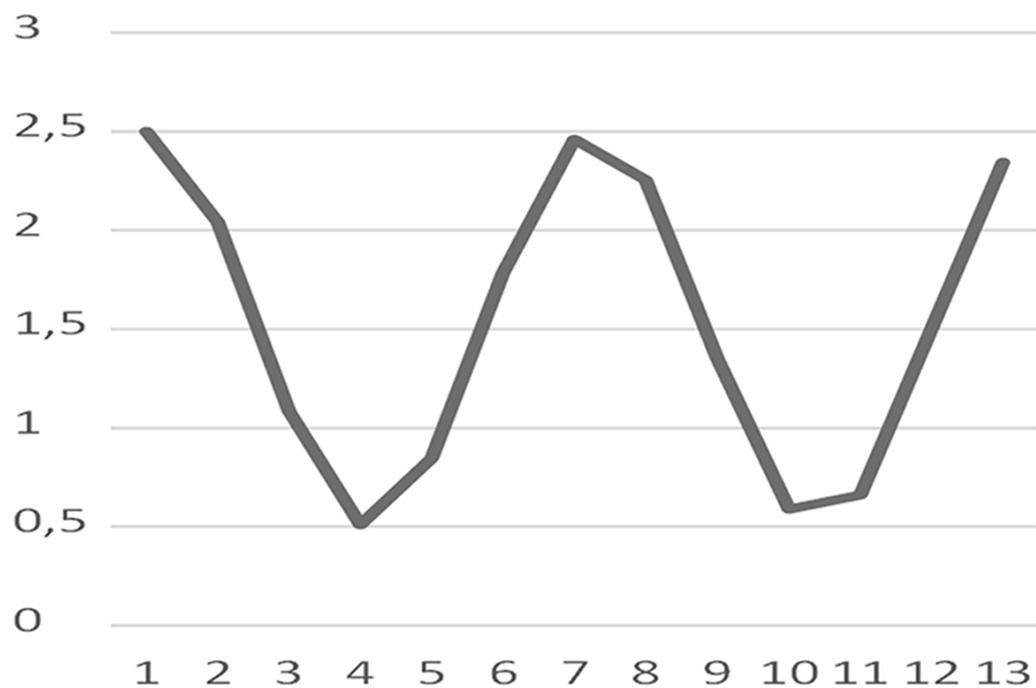
*Source:* Authoring

**Рисунок 3**

**Жизненный цикл города: траектория развития с повторными циклами**

**Figure 3**

**The life cycle of the city: The trajectory of development with repeated cycles**



*Источник:* авторская разработка

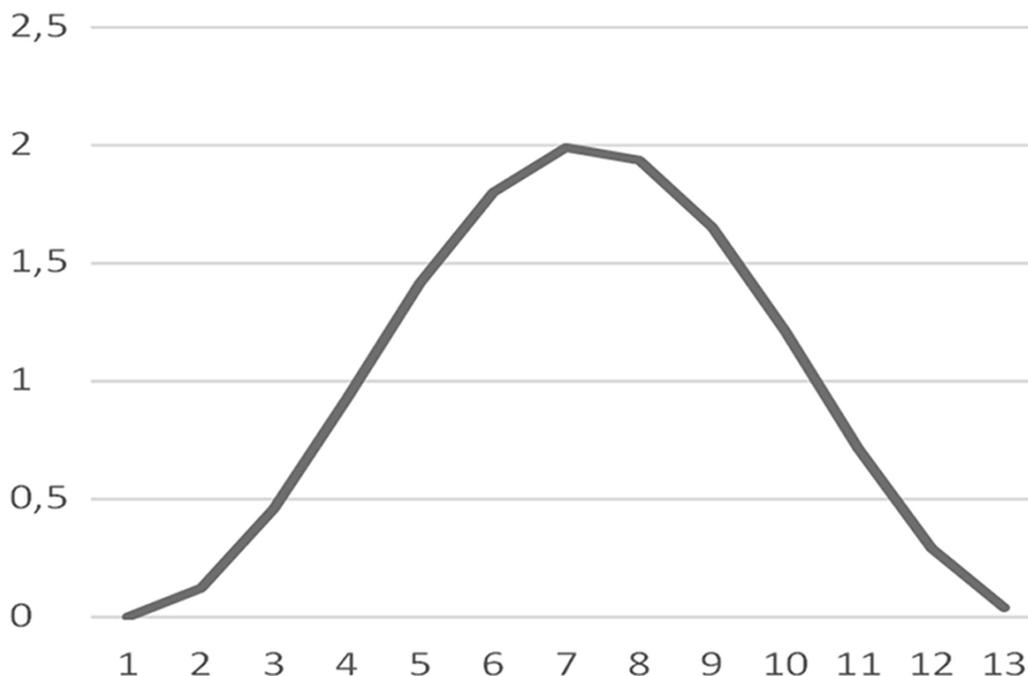
*Source:* Authoring

**Рисунок 4**

**Жизненный цикл города: траектория развития с выраженными периодами расцвета и упадка**

**Figure 4**

**The life cycle of the city: The trajectory of development with evident periods of prosperity and decline**



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

**Список литературы**

1. *Белякова Г.Я., Проскурнин С.Д.* Формирование модели устойчивого развития городов науки и высокотехнологического производства // *Первый экономический журнал*. 2023. № 1. С. 26–40.
2. *Кузьмин Е.А.* Цикличность проявлений устойчивости в экономике // *Вопросы регулирования экономики*. 2014. № 1. С. 58–68.  
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsiklichnost-proyavleniy-ustoychivosti-v-ekonomike/viewer>
3. *Boulding K.* General Systems Theory – The Skeleton of Science. *Management Science*, 1956, vol. 2, iss. 3, pp. 197–286.  
URL: <https://doi.org/10.1287/mnsc.2.3.197>

4. *Levitt T.* Exploit the Product Life Cycle. *Harvard Business Review*, 1965, vol. 43, pp. 81–94.  
URL: <https://hbr.org/1965/11/exploit-the-product-life-cycle>
5. *Porter M.* *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors.* New-York, Free Press, 1980, 397 p.
6. *Форрестер Дж.* Динамика развития города. М.: Прогресс, 1974. 286 с.
7. *Бияков О.А.* Теория экономического пространства: методологический и региональный аспекты: монография. Томск: Томский государственный университет, 2004. 151 с.
8. *Звягина О.В.* Жизненный цикл старопромышленных территорий региона: тенденции и перспективы развития // Научное мнение. 2014. № 3. С. 132–135.
9. *Баканов С.А.* Концепция «старопромышленных регионов» в историко-экономических исследованиях: проблемы теории и историографии // Вестник Челябинского государственного университета. 2015. № 24. С. 160–167. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-staropromyshlennyh-regionov-v-istoriko-ekonomicheskikh-issledovaniyah-problemy-teorii-i-istoriografii/viewer>
10. *Дулесов А.Н., Бехтерев Д.В.* Классификация моногородов по их жизненному циклу // Фундаментальные исследования. 2015. № 10. Ч. 1. С. 161–165. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39142&ysclid=ljcu59jyjd124156205>
11. *Fisher I.* *The Purchasing Power of Money: Its' Determination and Relation to Credit Interest and Crises.* New-York, Cosimo Inc., 2006, 528 p.
12. *Perroux F.L.* *L'économie du XXe Siècle: Ouvrage et Articles.* Presses universitaires de Grenoble, 1991, 814 p.
13. *Boudeville J.* *Les Espaces Économiques.* Paris, Presses Universitaires de France, 1961, 126 p.
14. *Lasuen J.R.* On Growth Poles. *Urban Studies*, 1969, vol. 6, iss. 2, pp. 137–161. URL: <https://doi.org/10.1080/00420986920080231>
15. *Hägerstrand T.* *Innovation Diffusion as a Spatial Process.* Chicago, University of Chicago Press, 1973, 334 p.

16. *Vernon R.* International Investment and International Trade in the Product Cycle. *International Economic Policies and Their Theoretical Foundations. Economic Theory, Econometrics, and Mathematical Economics.* New York, Academic Press, 1992, pp. 415–435.  
URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-444281-8.50024-6>
17. *Porter M.E.* On Competition. Harvard Business Press, 2008, 544 p.
18. *Kotler P.* Marketing Places Europe: How to Attract Investments, Industries, Residents and Visitors to Cities, Communities, Regions and Nations in Europe. London, Financial Times Prentice Hall, 1999, 302 p.
19. *Иванов П.А.* Жизненный цикл территории: понятие и стадии развития // Азимут научных исследований: экономика и управление, 2017. Т. 6. № 2. С. 97–100. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zhiznennyu-tsikl-territorii-ponyatie-i-stadii-razvitiya/viewer>
20. *Глазьев С.Ю., Локосов В.В.* Оценка предельно критических значений показателей состояния российского общества и их использование в управлении социально-экономическим развитием // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2012. № 4. С. 22–41. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-predelno-kriticheskikh-znacheniy-pokazateley-sostoyaniya-rossiyskogo-obschestva-i-ih-ispolzovanie-v-upravlenii-sotsialno-1/viewer>
21. *Проскурнин С.Д.* Центр превосходства – базовый элемент управления инновационным развитием // Социальные и экономические системы. 2022. № 6-4. С. 141–163.  
URL: [https://www.sesjournal.ru/release/archive/journal/?SECTION\\_ID=61](https://www.sesjournal.ru/release/archive/journal/?SECTION_ID=61)

### **Информация о конфликте интересов**

Я, автор данной статьи, со всей ответственностью заявляю о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

pISSN 2073-1477  
eISSN 2311-8733

*Sustainable Development of Regions*

## A MODEL OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF SCIENCE AND HIGH TECHNOLOGY CITIES TAKING INTO ACCOUNT THE AREA'S LIFE CYCLE

Sergei D. PROSKURNIN

---

Council of Deputies of Closed Administrative-Territorial Formation of Zheleznogorsk,  
Zheleznogorsk, Krasnoyarsk Krai, Russian Federation

boger1111@mail.ru

ORCID: not available

---

### Article history:

Article No. 247/2023

Received 1 June 2023

Received in revised

form 13 June 2023

Accepted 23 June 2023

Available online

17 July 2023

### JEL classification:

O38, R10, R11

### Keywords:

life cycle,  
cyclical urban  
development,  
sustainable urban  
development

### Abstract

**Subject.** This article analyzes the cyclical nature of urban development.

**Objectives.** The article aims to identify new areas for the development of cities of science and high technology.

**Methods.** For the study, I used the methods of general systems, logical, comparative, and multivariate analyses, grouping, generalization, expert assessments, and optimal control.

**Results.** The article proposes a methodology for constructing an economic and mathematical model of sustainable development of cities of science and high technology.

**Conclusions.** A self-developing innovation ecosystem will help ensure the sustainable development of science cities in the long term.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2023

---

**Please cite this article as:** Proskurnin S.D. A Model of Sustainable Development of Science and High Technology Cities Taking into Account the Area's Life Cycle. *Regional Economics: Theory and Practice*, 2023, vol. 21, iss. 7, pp. 1308–1336.

<https://doi.org/10.24891/re.21.7.1308>

---

## References

1. Belyakova G.Ya., Sergey D.P. [Formation of a model of sustainable development of cities of science and high-tech production]. *Pervyi ekonomicheskii zhurnal = The First Economic Journal*, 2023, no. 1, pp. 26–40. (In Russ.)
2. Kuzmin E.A. [Cyclicity of stability in economy]. *Voprosy regulirovaniya ekonomiki = Journal of Economic Regulation*, 2014,

- no. 1, pp. 58–68.  
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsiklichnost-proyavleniy-ustoychivosti-v-ekonomike/viewer> (In Russ.)
3. Boulding K. General Systems Theory – The Skeleton of Science. *Management Science*, 1956, vol. 2, iss. 3, pp. 197–286.  
URL: <https://doi.org/10.1287/mnsc.2.3.197>
  4. Levitt T. Exploit the Product Life Cycle. *Harvard Business Review*, 1965, vol. 43, pp. 81–94.  
URL: <https://hbr.org/1965/11/exploit-the-product-life-cycle>
  5. Porter M. *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*. New-York, Free Press, 1980, 397 p.
  6. Forrester J.W. *Dinamika razvitiya goroda* [Urban Dynamics]. Moscow, Progress Publ., 1974, 286 p.
  7. Biyakov O.A. *Teoriya ekonomicheskogo prostranstva: metodologicheskii i regional'nyi aspekty: monografiya* [Theory of economic space: methodological and regional aspects: a monograph]. Tomsk, Tomsk State University Publ., 2004, 151 p.
  8. Zvyagina O.V. [Life cycle of old industrial territories in a region: tendencies and development prospects]. *Nauchnoe mnenie = The Scientific Opinion*, 2014, no. 3, pp. 132–135. (In Russ.)
  9. Bakanov S.A. [The concept of old industrial regions in the historical and economic studies: problems of theory and historiography]. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Chelyabinsk State University*, 2015, no. 24, pp. 160–167.  
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-staropromyshlennyh-regionov-v-istoriko-ekonomicheskikh-issledovaniyah-problemy-teorii-i-istoriografii/viewer> (In Russ.)
  10. Dulesov A.N., Bekhterev D.V. [Classification on monocities their life cycle]. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental Research*, 2015, no. 10, part 1, pp. 161–165.  
URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39142&yclid=ljcu59jyjd124156205> (In Russ.)
  11. Fisher I. *The Purchasing Power of Money: Its' Determination and Relation to Credit Interest and Crises*. New-York, Cosimo Inc., 2006, 528 p.

12. Perroux F.L. *L'économie du XXe Siècle: Ouvrage et Articles*. Presses universitaires de Grenoble, 1991, 814 p.
13. Boudeville J. *Les Espaces Économiques*. Paris, Presses Universitaires de France, 1961, 126 p.
14. Lasuen J.R. On Growth Poles. *Urban Studies*, 1969, vol. 6, iss. 2, pp. 137–161. URL: <https://doi.org/10.1080/00420986920080231>
15. Hägerstrand T. *Innovation Diffusion as a Spatial Process*. Chicago, University of Chicago Press, 1973, 334 p.
16. Vernon R. *International Investment and International Trade in the Product Cycle*. *International Economic Policies and Their Theoretical Foundations. Economic Theory, Econometrics, and Mathematical Economics*. New York, Academic Press, 1992, pp. 415–435.  
URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-444281-8.50024-6>
17. Porter M.E. *On Competition*. Harvard Business Press, 2008, 544 p.
18. Kotler P. *Marketing Places Europe: How to Attract Investments, Industries, Residents and Visitors to Cities, Communities, Regions and Nations in Europe*. London, Financial Times Prentice Hall, 1999, 302 p.
19. Ivanov P.A. [Life cycle of the territory: concept and stages of development]. *Azimut nauchnykh issledovaniy: ekonomika i upravlenie*, 2017, vol. 6, iss. 2, pp. 97–100. (In Russ.)  
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zhiznennyy-tsikl-territorii-ponyatie-i-stadii-razvitiya/viewer>
20. Glazyev S.Yu., Lokosov V.V. [Assessment of the critical threshold values of the indicators of the state of Russian society and their use in the socio-economic development management]. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz = Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 2012, no. 4, pp. 22–41.  
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-predelno-kriticheskikh-znacheniy-pokazateley-sostoyaniya-rossiyskogo-obschestva-i-ih-ispolzovanie-v-upravlenii-sotsialno-1/viewer> (In Russ.)
21. Proskurnin S.D. [Centre of excellence as the basic element of innovation development management]. *Sotsial'nye i ekonomicheskie sistemy*, 2022, no. 6-4, pp. 141–163. (In Russ.)  
URL: [https://www.sesjournal.ru/release/archive/journal/?SECTION\\_ID=61](https://www.sesjournal.ru/release/archive/journal/?SECTION_ID=61)

### **Conflict-of-interest notification**

I, the author of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.