

Научная статья

УДК 330.45

DOI 10.18101/2304-4446-2026-1-36-41

**Ресурсные орбиты региональной экономики:
экономико-математическая модель формирования
замкнутых циклов воспроизводства**

© Барлуков Александр Михайлович

кандидат экономических наук, доцент

barlukov88@mail.ru

© Барлуков Роман Александрович

обучающийся

barlukovroman@mail.ru

Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова
Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а

Аннотация. В статье представлена оригинальная экономико-математическая модель «ресурсных орбит», предназначенная для анализа циркулярного воспроизводства в региональной экономике. Модель описывает движение материалов как систему повторяющихся орбитальных циклов, формируемых под воздействием технологических, институциональных и инфраструктурных факторов. Вводятся коэффициенты удерживаемости, трения, ускорения, мощности переработки и перегрузки, а также предлагается показатель орбитальной устойчивости, позволяющий оценивать вероятность сохранения ресурса в обороте. В отличие от существующих линейных и балансовых подходов модель отражает нелинейную динамику переработки и возврата материала. Также вводятся понятия «орбитальная устойчивость», «ресурсная орбита и ее радиус», «орбитальное трение» и «орбитальная плотность». Данная модель позволяет оценить способность региональной экономики удерживать ресурсы внутри системы, минимизируя утечки и повышая воспроизводственный потенциал, и представляет собой новый инструмент анализа эффективности политики перехода к циркулярной экономике на региональном уровне.

Ключевые слова: экономика замкнутого цикла, ресурсная орбита, переработка, региональная экономика, математическое моделирование, устойчивость.

Для цитирования

Барлуков А. М., Барлуков Р. А. Ресурсные орбиты региональной экономики: экономико-математическая модель формирования замкнутых циклов воспроизводства // Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент. 2026. № 1. С. 36–41.

Проблематика перехода регионов к экономике замкнутого цикла активно развивается, однако большинство существующих методов анализирует циркулярные процессы достаточно прямолинейно: как перераспределение потоков сырья или как оптимизацию затрат [1]. Такой подход важен, но он, по нашему мнению, не отражает динамическую природу развития региональной экономики, где ключевым фактором является способность системы удерживать ресурсы внутри себя, возвращая их в повторное использование.

На наш взгляд, во многих регионах России наблюдается высокая скорость утечки материальных и энергетических ресурсов: значительная часть материалов после первого использования отправляется на полигоны или выходит за пределы региона без возврата в местный хозяйственный цикл. Это ведет к снижению экономической эффективности, росту затрат и экологических рисков.

По нашему мнению, для анализа таких процессов необходимо отходить от классических инструментов и рассматривать экономику как самоорганизующуюся систему, где движения ресурсов напоминают орбиты — плавные, но устойчивые циклы, формируемые под воздействием технологических, инфраструктурных и институциональных сил.

Эти процессы становятся все более значимыми в рамках перехода к экономике замкнутого цикла, где ключевым фактором является способность региона удерживать ресурсы внутри собственной экономической системы, предотвращая их утечку на этапах использования и утилизации [2].

В данной статье предложена новая концепция моделирования — модель ресурсных орбит, рассматривающая движение ресурсов как сложную систему повторяющихся циклов. Такой подход позволяет учитывать неоднородность производственных процессов, описывать динамику возврата ресурса, выявлять точки разрыва циркулярных контуров, оценивать влияние переработки на устойчивость экономики региона.

На наш взгляд, под ресурсной орбитой понимается повторяющаяся последовательность переходов ресурса между различными секторами региональной экономики — от добычи или ввоза к первичной переработке, производству, использованию, сбору, сортировке, вторичной переработке и повторному включению в хозяйственный цикл.

При этом орбита, по нашему мнению, считается устойчивой, если после каждого прохождения цикла ресурс возвращается в экономику в форме, пригодной как минимум для одного дополнительного применения.

В рамках разработанной нами модели «орбитальное трение» — это, на наш взгляд, совокупность факторов, которые препятствуют движению ресурса по орбите:

- технологические потери;
- неразвитая инфраструктура сбора отходов;
- экологические ограничения;
- институциональные барьеры;
- экономическая невыгодность переработки.

Чем выше уровень трения, тем более вероятно «схождение ресурса с орбиты», то есть его выход из хозяйственного оборота.

По нашему мнению, радиус орбиты отражает длину пути ресурса до полного возвращения в производство. Следовательно, узкая орбита — это быстрый возврат, а широкая орбита — это длительная и затратная траектория, где возрастает риск утечки.

На наш взгляд, орбитальная плотность региональной экономики — это отношение количества ресурсов, находящихся в орбитальном движении, к общему объему ресурсов региона. Высокая орбитальная плотность означает эффективную циркулярную экономику.

Представим экономику региона как систему взаимосвязанных орбит, каждая из которых соответствует определенному материалу или группе ресурсов. Для удобства выделим:

- орбиты первичных ресурсов (металл, древесина, топливо);
- орбиты промежуточных ресурсов (полуфабрикаты);
- орбиты вторичных ресурсов (вторсырье, отходы переработки);
- комбинированные орбиты, где ресурс может переходить между циклами.

При этом каждая орбита имеет:

- точки входа — месторождения, импорт, производство;
- точки ускорения — перерабатывающие предприятия;
- точки торможения — логистические разрывы, отсутствие спроса;
- точки разрыва — вывод ресурса из оборота.

Предложенная нами модель ресурсных орбит:

- расширяет теоретические представления о циркулярной экономике;
- показывает динамику ресурсов через траектории, а не балансы;
- объясняет, почему одни регионы удерживают ресурсы, а другие теряют;
- позволяет определить «слабые места» орбит — точки разрыва.

Таким образом, региональная экономика становится по-настоящему циркулярной только тогда, когда возникает система взаимосвязанных, устойчивых ресурсных орбит с минимальным уровнем орбитального трения.

Теперь более подробно рассмотрим разработанную нами экономико-математическую модель формирования замкнутых циклов воспроизводства (ресурсных орбит региона).

Пусть в регионе обращается n типов ресурсов.

Для каждого ресурса i вводится:

$R_i(t)$ — количество ресурса, находящегося в орбитальном движении в момент времени t ;

α_i — коэффициент орбитальной удерживаемости (доля ресурса, остающаяся внутри региона после прохождения текущего цикла);

β_i — коэффициент орбитального трения (доля ресурса, теряемая в виде отходов или утечек);

γ_i — коэффициент орбитального ускорения (эффект от переработки и углубления цикла);

δ_i — коэффициент внешнего притока (сырье, импорт, добыча);

μ_i — институциональный коэффициент, отражающий силу регулирования (налоги, тарифы, нормы переработки);

ϕ_i — технологическая мощность переработки (максимальный объем ресурса, который может быть удержан на орбите).

Таким образом, модель орбитальной динамики будет описываться рекурсивным уравнением:

$$R_i(t+1) = \alpha_i \cdot R_i(t) + \gamma_i \cdot f_i(R_i(t)) + \delta_i - \beta_i \cdot R_i(t) - \theta_i \cdot g_i(R_i(t)), \text{ где}$$

$f_i(R_i(t))$ — функция переработки;

$g_i(R_i(t))$ — функция технологического насыщения;

θ_i — коэффициент потерь из-за недостаточной мощности переработки.

Теперь поясним смысл каждого члена данного уравнения:

1) удерживаемая часть орбиты:

$\alpha_i \cdot R_i(t)$ — доля ресурса, которая возвращается в следующий оборот.

2) эффект переработки (орбитальное ускорение):

$\gamma_i \cdot f_i(R_i(t))$ — переработка ускоряет движение ресурса и увеличивает его «орбитальную энергию».

Функция переработки предлагается нами нелинейная:

$f_i(R_i) = R_i(1 - e^{-\frac{R_i}{\phi_i}})$, то есть переработка растет быстрее на начальных этапах, но ограничена технологической мощностью.

3) внешний приток:

δ_i — это импорт, добыча, поставки.

4) орбитальное трение (потери):

$\beta_i \cdot R_i(t)$ — это утечки, неконтролируемые отходы.

5) перегрузка инфраструктуры (точки разрыва):

$\theta_i \cdot g_i(R_i(t))$, причем $g_i(R_i) = \max(0, R_i - \phi_i)$, то есть если ресурсов больше, чем может переработать инфраструктура, часть выпадает из орбиты.

Таким образом, экономическим эффектом орбитального движения, или главной целевой функцией региона является максимальная добавленная стоимость, генерируемая орбитами.

Нами предлагается следующая орбитальная функция выгоды:

$$W = \sum_{i=1}^n (\lambda_i R_i - \psi_i \beta_i R_i + \xi_i \gamma_i f_i(R_i) - \omega_i g_i(R_i)), \text{ где}$$

λ_i — экономическая ценность единицы ресурса;

ψ_i — потери от утечек;

ξ_i — прибыль от переработки;

ω_i — ущерб при перегрузке инфраструктуры.

Необходимо отметить, что это не оптимизационная модель в классическом смысле, это функционал оценки эффективности системы орбит, который позволяет сравнивать сценарии развития региона.

Теперь рассмотрим показатель орбитальной устойчивости, для этого введем интегральный критерий:

$$\Omega_i = \frac{\alpha_i + \gamma_i(1 - e^{-\frac{R_i}{\phi_i}})}{\beta_i + \theta_i},$$

если $\Omega_i > 1$ — орбита устойчива, ресурс удерживается в системе;

если $\Omega_i = 1$ — критическая зона;

если $\Omega_i < 1$ — ресурс неизбежно «спадает с орбиты» (утечки, захоронения, экспорт без возврата).

Данный показатель — это, по нашему мнению, совершенно новый инструмент анализа региональной циркулярной экономики.

Теперь рассмотрим системы ресурсных орбит. Поскольку ресурсы взаимодействуют друг с другом (например, пластик → энергия → металл → упаковка), то можно ввести, на наш взгляд, матрицу межорбитальных переходов:

$P = (p_{ij})$, где p_{ij} — вероятность того, что ресурс из орбиты i перейдет в орбиту j после переработки.

Тогда полный орбитальный вектор будет выглядеть следующим образом:

$R(t+1) = P \cdot R(t) + U(t)$, где $U(t)$ — суммарный вектор прироста (притоки минус потери).

Таким образом, разработанная нами модель ресурсных орбит региональной экономики является новым инструментом анализа циркулярной трансформации. Она позволяет описать движение ресурсов как динамическую систему, выявлять устойчивые и неустойчивые циклы, оценивать технологические и инфраструктурные ограничения, а также формировать количественные показатели для стратегического планирования.

На наш взгляд, данная модель обладает высокой аналитической ценностью и может применяться при разработке программ управления отходами, создании перерабатывающих кластеров, прогнозировании объемов вторичных ресурсов и обеспечении устойчивого развития регионов.

Литература

1. Барлуков А. М. Об одном из подходов к экономико-математическому моделированию экономики замкнутого цикла региона // Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент. 2024. № 4. С. 24–27. Текст: непосредственный.

2. Бахтизин А. Р. Моделирование сложных систем в региональной экономике: монография. Москва: Экон-Информ, 2018. 303 с. Текст: непосредственный.

Статья поступила в редакцию 29.11.2025; одобрена после рецензирования 10.01.2026; принята к публикации 16.01.2026.

Resource Orbits of the Regional Economy: An Economic and Mathematical Model
for Developing Circular Reproduction Systems

Aleksandr M. Barlukov
Cand. Sci. (Econ.), A/Prof.
barlukov88@mail.ru

Roman A. Barlukov
Student
barlukovroman@mail.ru

Dorzhi Banzarov Buryat State University
24a Smolina St., Ulan-Ude 670000, Russia

Abstract. The article presents an original economic and mathematical model of “resource orbits” designed to analyze circular reproduction processes within the regional economy. The model describes material flows as a system of recurring orbital cycles shaped by technological, institutional, and infrastructural factors. It introduces coefficients of retention, friction, acceleration, processing capacity, and overload, as well as an orbital stability indicator that evaluates the possibility of keeping resources within the economic system. Unlike existing linear or balance-based approaches, the model reflects the nonlinear dynamics of recycling and material return. We have also introduced the concepts of “orbital stability”, “resource orbit and its radius”, “orbital friction”, and “orbital density”. This model provides a means to evaluate a regional economy's capacity to retain resources, minimize their outflow, and boost its regenerative potential, thereby serving as a new analytical tool for assessing the efficacy of circular economy transition policies at the regional level.

Keywords: circular economy, resource orbit, recycling, regional economy, mathematical modeling, sustainability.

For citation

Barlukov A. M., Barlukov R. A. Resource orbits of the regional economy: An economic and mathematical model for developing circular reproduction systems. *Bulletin of Buryat State University. Economy and Management*. 2026; 1: 36–41 (In Russ.).

The article was submitted 29.11.2025; approved after reviewing 10.01.2026; accepted for publication 16.01.2026.