

МОДЕРНИЗАЦИЯ И ИННОВАЦИИ

УДК 338.22.021.4

JEL: M11, M14, O33

**Развитие теории пространственной организации экономики
на основе энергопроизводственных циклов, кластеров и полюсов роста
в контексте шестого технологического уклада****С.Ю. Глазьев**, д.э.н., профессор<https://orcid.org/0000-0001-6745-7265>; SPIN-код (РИНЦ): 4922-6019

Scopus author ID: 7801629452

e-mail: prm_glazyev@gov.ru**О.Е. Медведева**, д.э.н., профессор<https://orcid.org/0000-0002-1961-8359>; SPIN-код (РИНЦ): 5874-8176

Scopus author ID: 57212408006

e-mail: medvedeva_o@list.ru**А.С. Савостицкий**, к.э.н., доцент<https://orcid.org/0000-0001-6652-3005>; SPIN-код (РИНЦ): 8102-0400

Scopus author ID: 57204928062

e-mail: smart-909@yandex.ru**Для цитирования**

Глазьев С.Ю., Медведева О.Е., Савостицкий А.С. Развитие теории пространственной организации экономики на основе энергопроизводственных циклов, кластеров и полюсов роста в контексте шестого технологического уклада // Проблемы рыночной экономики. - 2026. - № 1. - С. 46-59.

DOI: 10.33051/2500-2325-2026-1-46-59**Аннотация**

В статье показана эволюция подходов к пространственной организации экономики - от энергопроизводственных циклов и территориально-производственных комплексов Н. Н. Колосовского, кластерной теории М. Портера и концепции полюсов роста Ф. Перру и А. Хиршмана к современным узловым моделям шестого технологического уклада. Обоснован вывод о том, что ключевой трансформацией является переход к сетевой организации экономического пространства, основанной на концентрации знаний, умений, новых технологий и инфраструктуры. Предложена интерпретация нового цифрового энергопроизводственного цикла и разработан интегральный индекс оценки эффективности кластеров нового типа.

Ключевые слова: IT-кластеры, ЭПЦ, ТПК, кластеры, полюса роста, цифровая экономика, энергопотребление, технологический уклад, инфраструктура.

**Development of the theory of spatial organization of the economy based on
energy production cycles, clusters and growth poles in the context of the
sixth technological paradigm****Sergey Y. Glazyev**, Dr. of Sci. (Econ.), Professor<https://orcid.org/0000-0001-6745-7265>; SPIN-код (РИНЦ): 4922-6019

Scopus author ID: 7801629452

e-mail: prm_glazyev@gov.ru

Olga E. Medvedeva, Dr. of Sci. (Econ.), Professor
<https://orcid.org/0000-0002-1961-8359>; SPIN-code (RSCI): 5874-8176
Scopus author ID: 57212408006
e-mail: medvedeva_o@list.ru

Artem S. Savostitsky, Cand. of Sci. (Econ.), Associate Professor
<https://orcid.org/0000-0001-6652-3005>; SPIN-код (ПИИЦ): 8102-0400
Scopus author ID: 57204928062
e-mail: smart-909@yandex.ru

For citation

Glazyev S.Yu., Medvedeva O.E., Savostitsky A.S. Development of the theory of spatial organization of the economy based on energy production cycles, clusters and growth poles in the context of the sixth technological paradigm // Market economy problems. - 2026. - No. 1. – Pp. 46-59 (In Russian).

DOI: 10.33051/2500-2325-2026-1-46-59

Abstract

This article examines the evolution of approaches to the spatial organization of the economy - from N. N. Kolosovsky's energy production cycles and territorial production complexes, M. Porter's cluster theory, and F. Perroux and A. Hirschman's growth pole concept to contemporary nodal models of the sixth technological paradigm. It substantiates the conclusion that the key transformation is the transition to a networked organization of economic space based on the concentration of knowledge, skills, new technologies, and infrastructure. An interpretation of the new digital energy production cycle is proposed, and an integrated index for assessing the effectiveness of new clusters is developed.

Keywords: *IT clusters, EPC, TPK, clusters, growth poles, digital economy, energy consumption, technological order, infrastructure.*

Введение

Развитие теории пространственной организации экономики прошло эволюцию от ранних советских концепций Н. Н. Колосовского до кластерной модели М. Портера и современных представлений об инновационных экосистемах. Классические энергопроизводственные циклы (ЭПЦ) и территориально-производственные комплексы (ТПК) Колосовского заложили основы комплексного подхода к размещению производства, а кластерная теория Портера популяризировала идею конкурентоспособных региональных «гроздей» фирм. Однако в условиях шестого технологического уклада [3] (характеризующегося цифровизацией, сетевыми инновациями и новым витком технологий) эти классические модели требуют переосмысления. В данной статье проводится синтез указанных теорий с учётом современных трендов: перехода к кросс-кластерным экосистемам, возрастания роли энергии в цифровой экономике, и появления новых подходов к оценке эффективности кластеров и «полюсов роста». Отдельное внимание уделяется инфраструктуре как основе устойчивого развития кластеров и полюсов роста, а также предлагается сравнительный анализ классического ЭПЦ и его аналога в шестом укладе. В заключение приводятся показатели и формулы для количественной оценки инновационных кластеров в новых условиях.

Цель данного исследования – систематизация и сопоставление указанных теоретических подходов, показ их эволюционной преемственности и выявление их потенциала для анализа и управления пространственным развитием регионов в современных условиях.

Теория ЭПЦ и ТПК Н. Н. Колосовского. От плановой комплексности к цифровым реалиям

Энергопроизводственный цикл в классическом понимании Н. Н. Колосовского – это устойчивая совокупность технологически связанных производственных процессов,

локализованных вокруг определённой энергетической базы и сырьевого ресурса, опирающихся на общую инфраструктуру и образующих замкнутую цепочку переработки от добычи сырья до выпуска конечной продукции [7]. Иными словами, ЭПЦ объединяет все стадии производства, осуществляемые на основе одного вида энергии и сырья, причём предприятия цикла расположены территориально близко к источникам ресурсов для снижения издержек и полного использования сырьевых и энергетических компонентов. В пределах территории, где реализуется ЭПЦ, формируется целостный территориально-производственный комплекс – взаимосвязанная система предприятий, инфраструктуры и природных ресурсов данного района [8].

Ключевыми признаками концепции Колосовского являются комплексность и технологическая сопряжённость производств, в противоположность простому географическому соседству предприятий [1]. Это означает: совместимость производств по используемой энергии, сырью и технологиям; последовательность переделов с глубокой переработкой сырья; снижение суммарных издержек благодаря объединению потоков сырья, энергии, транспортировки и утилизации отходов; опору на общую инфраструктуру (транспорт, энергосети, трудовые ресурсы и систему расселения).

Таким образом, теория ТПК/ЭПЦ предлагала системный подход к развитию регионов, вертикальную и горизонтальную интеграцию отраслей с учётом инфраструктурных и энергетических ограничений, нацеленную на максимизацию совокупного эффекта для народного хозяйства [5]. Несмотря на плановый характер (теория создавалась в СССР в 1920–30-х годах) и игнорирование рыночной конкуренции, идеи Колосовского задали методологическую базу для будущих кластерных концепций, особенно в части системного видения производственных связей и роли инфраструктуры как фактора развития.

Современная интерпретация ЭПЦ в условиях шестого уклада. В XXI веке возродила интерес к идеям Колосовского ввиду их адаптации к новым реалиям. Хотя классические ТПК не прижились при рыночной экономике из-за жесткого планового подхода, сама концепция ЭПЦ оказалась недооценённой. В условиях перехода к новым источникам энергии и цифровой экономике ЭПЦ могут служить структурным каркасом для формирования региональных производственных систем следующего поколения. Современные кластеры основываются на рыночных механизмах: конкуренции, частной инициативе, сетевой коллаборации и цифровых платформах. Однако их пространственная и отраслевая размытость требует некой интегрирующей логики, которую как раз даёт подход ЭПЦ. Он привносит понимание цепочек переделов, энергетической базы и инфраструктурной связанности в кластерную политику. Иначе говоря, ЭПЦ выступает каркасом, обеспечивающим технологическую целостность и материальную базу, в то время как кластерная модель дополняет его институциональными механизмами (рынок, предпринимательство, инновационные экосистемы). В шестом технологическом укладе происходит синтез этих подходов.

Благодаря развитию связи и транспорта элементы ЭПЦ уже не обязательно локализованы строго в одном месте. Складывается экстерриториальность циклов. Часть связанных производств может находиться в других регионах или странах, соединяясь через современные коммуникации. Тем не менее, сам узел цикла – ключевой источник энергии или центр компетенций – остаётся привязанным к конкретной точке (например, крупная электростанция, дата-центр, университет или головное предприятие). Кроме того, в цифровой экономике на первый план выходят компетенции: знания и навыки специалистов становятся своего рода «энергией» для инновационного ЭПЦ. Если классический ЭПЦ опирался на топливно-энергетические ресурсы, то его аналог в шестом укладе опирается на человеческий капитал (способность генерировать и внедрять инновации) как главный ресурс развития [10, 11]. Наконец, кросс-кластерные взаимодействия расширяют границы цикла через обмен знаниями. Партнёрство между разными кластерами и регионами создает новые добавленные стоимости, своего рода внешние эффекты, обусловленные «переливом» знаний между кластерами (MAR-эффекты по Маршаллу–Арроу–Ромеру) за пределами исходного комплекса [19, 9]. К выгодам от партнёрства относится усиление кооперационных связей между участниками кластерного образования и его партнерами вне кластера, появление экономического эффекта от кросс-кластерных взаимодействий.

Таким образом, современные цифровые и инновационные кластеры могут рассматриваться как эволюция ЭПЦ. Сохраняя технологическую преемственность и инфраструктурный скелет

ТПК/ЭПЦ Колосовского, они облакаются в гибкие рыночные формы и глобальные сети взаимодействий.

Кластерная теория М. Портера

Классическая кластерная модель была сформулирована Майклом Портером в конце XX века как рыночная альтернатива плановым схемам развития регионов. Портер определил кластер как «группу географически близких взаимосвязанных компаний и связанных с ними организаций, действующих в определённой сфере, характеризующихся общностью деятельности и взаимодополняемостью» [20, 21]. Иными словами, кластер – это локальная концентрация специализированных фирм, поставщиков, научно-образовательных учреждений, которые одновременно конкурируют и кооперируются между собой внутри одной отрасли. Согласно Портеру, основными чертами кластера являются: отраслевая специализация (кластер объединяет участников одной отрасли или смежных отраслей); территориальная близость компаний, что снижает транзакционные издержки; усиленная конкуренция и кооперация между фирмами, приводящая к инновациям и повышению производительности; наличие «якорных» компаний-лидеров, вокруг которых формируется экосистема малых и средних предприятий. Эта модель оказалась весьма продуктивной для индустриальной экономики конца XX в. Кластерные инициативы успешно реализовывались во многих регионах США и Европы, стимулируя конкурентные преимущества стран [14,24].

Ограничения модели Портера

С начала 2000-х годов стало очевидно, что жёсткая портеровская схема не полностью отражает реалии инновационной экономики, основанной на знаниях. Во-первых, требование географической концентрации утратило абсолютную значимость, так как развитие интернет-коммуникаций и глобальной логистики позволяет эффективно взаимодействовать участникам, находящимся в разных городах и странах. Многие современные «виртуальные кластеры» существуют в формате распределённых сетей. Во-вторых, строгая отраслевая рамка размывается. Прорывные инновации обычно лежат на стыке отраслей, и межотраслевые кластеры (например, биотех, смарт-тех, грин-тех) становятся нормой. В-третьих, источником добавленной стоимости всё более становятся нематериальные активы – знания, креативность, интеллектуальная собственность – тогда как портеровская модель делала упор на материальное производство и снижение издержек. В-четвёртых, кластеры Портера предполагали относительную стабильность состава участников и вертикальные связи (поставщики – производители – потребители), тогда как современные инновационные экосистемы гораздо динамичнее и горизонтальнее, включают стартапы, временные проекты и пр.

В результате кластерная теория Портера начинает устаревать, что признаётся в литературе (см. [10, 11]). Попытки прямого копирования кластерной политики по Портеру (через создание «кластеров» указом сверху в отдельной отрасли) зачастую проваливались. Так, множество официальных кластерных проектов, запущенных властями без учёта современных особенностей (цифровизация коммуникаций, культура адаптивного сотрудничества), «умерли медленной смертью» [26].

В связи с вышеизложенным, перспективным представляется использование понятия совокупности технологически сопряженных производств (далее технологическая совокупность - ТС), введенным в экономическую науку более 30 лет назад для изучения технологических изменений в экономике. Технологическая совокупность, в отличие от отрасли и кластера, сохраняет целостность в процессе технологических сдвигов. Это понятие было введено для описания целостных элементов мезоэкономического уровня, технологические уклады [4]. Согласно авторскому определению, технологическую совокупность «можно представить в виде своеобразного «технологического спрута», ядро которого составляют один или несколько технологических процессов, а «щупальцами» служат дополняющие производства, обеспечивающие связь со смежными технологическими совокупностями. ТС складывается из специализированных технологических процессов, продукция которых используется главным образом внутри ТС, что обуславливает ее целостность.

ТС не привязана к конкретной территории, составляющие ее производства могут располагаться в разных регионах и даже странах, соединяясь технологическими цепочками

поставок, на которые сейчас приходится более половины международной торговли. Взаимосвязанные между собой ТС образуют технологические уклады. Включение этого понятия в теорию пространственной организации экономики позволяет отследить изменения в ее кластерной организации при переходе к новому технологическому укладу.

Вероятно, современная кластерная теория будет носить прикладной характер, фокусируясь на инструментах и методах развития кластеров в условиях смены технологических укладов и обусловленных этим процессов технологических революций (аналогично тому, как фундаментальная теория стоимости трансформировалась в прикладную теорию оценки стоимости в виде конкретных принципов и подходов к определению стоимости). Подтверждением данного тезиса может служить последнее поручение Путина Правительству Российской Федерации до 1 февраля 2026 года представить предложения «по размещению центров обработки данных в потенциально энергопрофицитных районах России...» [2].

Переход к кросс-кластерным экосистемам и коллаборациям

Тем не менее, уже можно выделить основные направления эволюции кластерной модели в XXI веке.

I. Переход от отраслевых кластеров к инновационным экосистемам. Традиционные производственные кластеры повсеместно дополняются или заменяются научно-технологическими и инновационными кластерами. Даже в отраслях «старой экономики» создаются научно-исследовательские центры, инкубаторы. Инновации становятся встроенным элементом любого кластера.

II. Постепенный отказ от строгой локации. Кластеры всё меньше привязаны к одной территории. Развиваются горизонтальные сети сотрудничества на межрегиональном и глобальном уровне. Появляются межрегиональные коалиции кластеров, кросс-кластерные взаимодействия между разными секторами. Благодаря этому роль географической близости снижается – ключевым становится наличие эффективных коммуникаций (цифровых платформ, сообществ) для обмена знаниями.

III. Также наблюдается переход от иерархий к коллаборациям. В новых моделях кластеризации делается акцент на добровольное сотрудничество и гибкие связи. Коллаборация становится базовой формой взаимодействия участников кластера, в противовес жёстким иерархиям. Фирмы, университеты, стартапы образуют партнёрства, консорциумы, временные проектные команды. Возникают кластерные экосистемы, включающие бизнес-парки, технопарки, акселераторы, коворкинги и другие инфраструктуры для кооперации.

IV. Человеческий капитал и знания становятся ядром кластеров. В отличие от модели «грозди предприятий», современный кластер всё чаще рассматривается как сообщество людей с уникальными знаниями и навыками. Именно концентрация высококвалифицированных специалистов (учёных, инженеров, предпринимателей) обеспечивает генерацию инноваций и притягивает высокотехнологичные компании. В последнее время оценка эффективности кластеров в ЕС напрямую связывается с концентрацией «знающих и умеющих» специалистов [10,11]. Таким образом, талант и компетенции становятся главным капиталом кластера, а не заводы и оборудование.

V. Роль инфраструктуры по-прежнему остается важной. Хотя кластеры становятся экстерриториальными, инфраструктура не теряет значения, а трансформируется по своим функциям. Теперь это не столько фактор размещения заводов, сколько условие для привлечения и удержания талантов, обеспечения комфортной среды для жизни и работы, и создания коммуникационной платформы. Кластеру нужна развитая цифровая инфраструктура, качественная среда обитания (жильё, урбанистика), транспортная доступность, научно-образовательная база – иначе лучшие кадры не придут. Исследования подтверждают тесную корреляцию между уровнем инфраструктурной обеспеченности региона и количеством создаваемых передовых технологий [10]. Поэтому инфраструктура выступает своего рода маркером успешности инновационного кластера: современные «полюса роста» возникают там, где есть узел инфраструктуры мирового класса (например, кампус, технополис, дата-центр) и концентрируется человеческий капитал.

Таким образом, современная кластерная теория смещается от понятия «территориального скопления фирм» к понятию «инновационной экосистемы», связанной сетью знаний и проектов.

Эта экосистема выходит за узкие отраслевые рамки, опирается на кросс-секторальные связи и цифровые коммуникации, а её ценность определяется интеллектуальным потенциалом и способностью к сотрудничеству. Кластеры шестого уклада, гибкие, междисциплинарные и основанные на знаниях – являются прямыми наследниками идей Колосовского и Портера, эволюционировавших под влиянием современных технологических трендов.

Концепция полюсов роста: от Перру и Хиршмана к цифровым узлам компетенций

В 1950–1960-е гг. в дополнение к кластерным идеям сформировалась концепция «полюсов роста», предложенная французским экономистом Франсуа Перру и развиваемая Альбертом Хиршманом. Перру исходил из того, что экономическое развитие происходит неравномерно и концентрируется вокруг отдельных «полюсов» – динамичных отраслей или предприятий-лидеров, обладающих высокой инновационной активностью. Такие ведущие отрасли создают вокруг себя эффект притяжения. Формируется сеть зависимых производств, поставщиков и обслуживающих фирм, которые растут благодаря лидеру. Рост экономики, по Перру, распространяется как «импульсы» от центра к периферии. То есть сильный полюс стимулирует развитие связанных отраслей и регионов [12].

Альберт Хиршман дополнил эту концепцию идеей несбалансированного развития, утверждая, что эффективнее всего направлять инвестиции точно, в те секторы или регионы, где есть наибольший потенциал роста, а не равномерно везде. Он ввёл понятие «связей» (linkages): обратные связи (backward linkages), когда развитие отрасли стимулирует её поставщиков, и прямые связи (forward linkages), когда рост лидера создаёт возможности для смежных отраслей и потребителей продукции. Таким образом, Хиршман описал механизм распространения эффектов от полюса роста через производственную цепочку [15].

Суть теории полюсов роста заключается в признании очагового характера развития. Экономика прогрессирует через возникновение центров роста, а не одновременно повсюду. Полюсами могут выступать не только отрасли, но и конкретные компании-лидеры, а также города или регионы, где концентрируются капиталы, кадры и инновации. На практике эта концепция легла в основу региональной политики многих стран во второй половине XX в., где создавались промышленные узлы, технополисы, особые экономические зоны с расчётом, что в дальнейшем они станут локомотивами роста для окружающих территорий. В отличие от советского подхода к ТПК, где упор делался на комплексное плановое освоение территорий, Перру и Хиршман акцент ставили на неравенство территорий. Основной принцип экономического развития территорий сводился к сознательному формированию точек опережающего роста, которые затем «подтянут» остальную экономику.

Полюса роста в шестом технологическом укладе

В современном понимании концепция полюсов роста претерпевает переосмысление, сохраняя суть, но меняя форму проявления. Если классический полюс – это чаще всего отрасль или промышленный центр, то сегодня все больший упор делается на узлы сосредоточения компетенций и инфраструктуры. Такой узел представляет собой точку пространства, где сосредоточены уникальные комбинации ресурсов нового типа, к которым относятся:

- надежное энергоснабжение и мощные электроэнергетические сети (для питания энергоёмких цифровых и промышленных процессов)];
- развитая цифровая инфраструктура: дата-центры (центры обработки данных - ЦОДы); высокоскоростные каналы связи; облачные платформы, обеспечивающие хранение и обработку больших данных;
- мощная научно-образовательная база: университеты, исследовательские центры, которые генерируют знания и готовят кадры;
- команды «знающих и умеющих» специалистов – сконцентрированный человеческий капитал, способный создавать инновации (инженеры, ученые) и внедрять их в производство (предприниматели, менеджеры);
- налаженные механизмы коллаборации и продвижения инноваций: кластеры, бизнес-акселераторы, а также возможности PR и выхода на рынки, позволяющие местным разработкам масштабироваться.

Именно комбинация всех перечисленных элементов формирует современный полюс роста, который фактически является высокотехнологичным кластером, обладающим достаточным энергетическим, интеллектуальным и инфраструктурным потенциалом, чтобы притягивать инвестиции и компании. Такой узел выполняет роль «магнита». Он притягивает таланты, стартапы, венчурный капитал и одновременно распространяет инновации и знания в окружающую экономику (аналог классического эффекта распространения импульсов Перру). По сути, происходит слияние понятий инновационного кластера и полюса роста. К таким новым образованиям можно отнести наиболее успешные научно-технологические кластеры мирового уровня (Силиконовая долина, Шэньчжэнь, Бангалор и др.). Они являются полюсами глобального роста, где сосредоточены компетенции, энергия и инфраструктура.

Пример попытки отразить расположение полюсов роста в России на основе рейтинга конкурентоспособности приведен на рис 1.

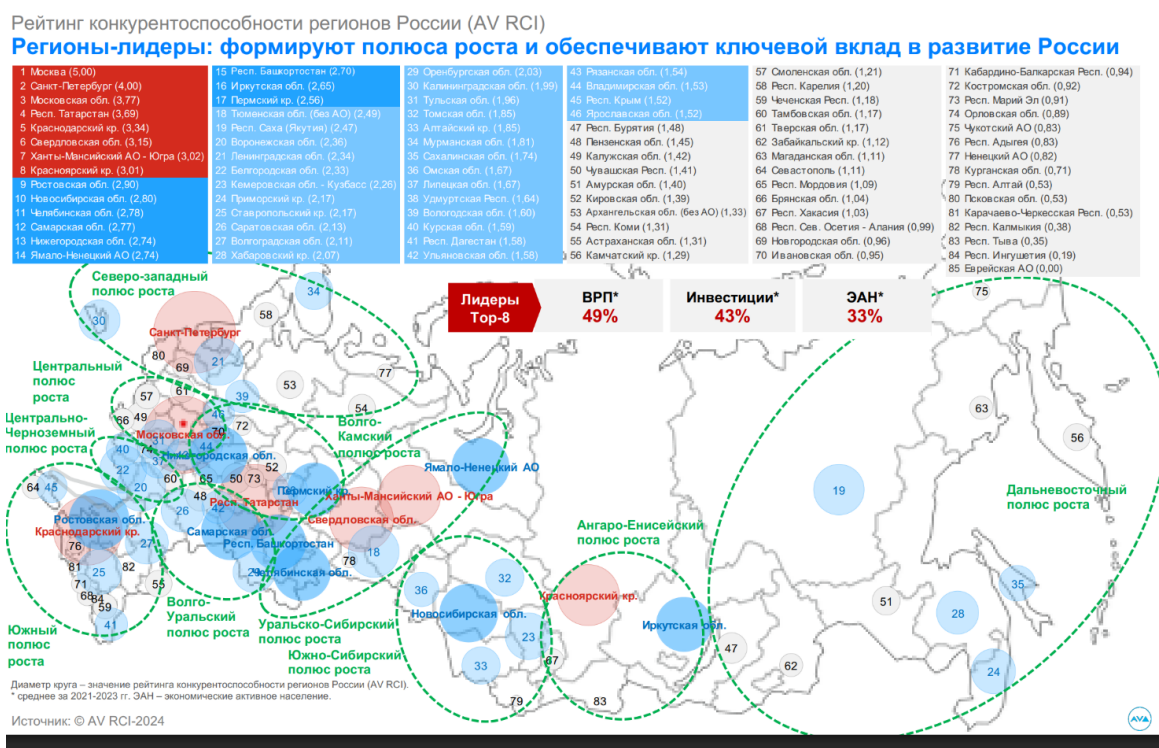


Рис. 1. Расположение полюсов роста в России на основе рейтинга конкурентоспособности
Источники: Индекс конкурентоспособности регионов России 2024 AV RCI-2023 [6].

Значение энергии в цифровой экономике – «цифровой ЭПЦ»

Цифровизация мировой экономики привела к взрывному росту энергопотребления в информационно-коммуникационном секторе. Дата-центры, обеспечивающие облачные сервисы и хранение данных, сегодня работают круглосуточно и непрерывно потребляют электричество, значительная часть которого уходит на охлаждение оборудования. Мощные серверы и суперкомпьютеры для искусственного интеллекта требуют всё больше энергии: обучение крупных моделей и поддержание нейросетевых сервисов сопровождается ростом нагрузок на электросети. Криптовалютный майнинг является особым случаем, где электричество напрямую конвертируется в вычислительные алгоритмы и хеши, а крупные майнинговые фермы потребляют энергию в количестве сопоставимым с промышленными предприятиями [25].

Сегодня энергия в буквальном смысле становится ограничителем роста таких цифровых полюсов. Высокая концентрация дата-центров и вычислительных мощностей требует значительных объёмов электроэнергии. По прогнозам Международного энергетического агентства (МЭА) потребление электроэнергии центрами обработки данных, системами искусственного интеллекта и криптовалютным сектором может удвоиться к 2026 году [16]. Доступ к дешёвой и надёжной энергии становится критически важным условием существования

полюса роста в цифровую эпоху. По данным МЭА, суммарное энергопотребление дата-центров в 2024 г. составило около 415 ТВт·ч, что эквивалентно 1,5% мирового потребления электроэнергии [13]. Более того, спрос на электроэнергию быстро растёт, порядка 12% в год за последние 5 лет. МЭА прогнозирует, что при сохранении текущих трендов к 2030 г. дата-центры могут потреблять уже 945 ТВт·ч, то есть почти 3% мировой электроэнергии [17]. Рост в значительной мере будет обусловлен распространением энергоёмких ИИ-серверов.

Криптомайнинг также даёт ощутимую нагрузку на энергосистему. По оценкам Управления энергетической информации США, на операции майнинга криптовалют в 2023 г. могло приходиться от 0,6% до 2,3% общего потребления электроэнергии США (см. [25]). Майнинг стал заметным потребителем электричества наравне с традиционными отраслями. Доступность энергии и возможность охлаждения создают критические условия для цифрового ЭПЦ. Электроэнергия становится ключевым ресурсом цифровых кластеров ее можно рассматривать в качестве нового «сырья» цифровой экономики. Если для индустриальной экономики XX века ключевыми ресурсами были уголь, нефть, руда, то для постиндустриальной – это энергия (электричество) плюс данные.

Современные цифровые ЭПЦ можно представить как циклы, где электрическая энергия на входе превращается в полезную цифровую продукцию на выходе (знания, алгоритмы, инновации). Успешный цифровой кластер невозможен без мощной энергетической основы. Таким образом, конкурентоспособность местных компаний сектора ИКТ (информационно-коммуникационных технологий), дата-центров, ИИ-стартапов напрямую зависит от наличия в регионе избыточных электрических мощностей и возможностей для охлаждения центров обработки данных.

В условиях шестого уклада можно говорить о формировании цифровых энергопроизводственных циклов, где ядром служит не традиционный завод, а связка электростанция + дата-центр.

Электричество питает вычисления; вычисления генерируют данные, обучают ИИ-модели, создают цифровые сервисы и новые технологии, которые затем масштабируются через сети и приносят добавленную стоимость. Полученная прибыль и новые продукты стимулируют дальнейшие инвестиции в энергетику и инфраструктуру, замыкая цикл и создавая обратную связь с выходом на модернизацию энерго- и инфраструктурной сети под возрастающие нужды. Эту концепцию можно представить в виде схемы, иллюстрирующей современный цикл от получения энергии до инноваций, интегрированный с полюсом роста и обратной связью инвестирования в инфраструктуру (рис.2).

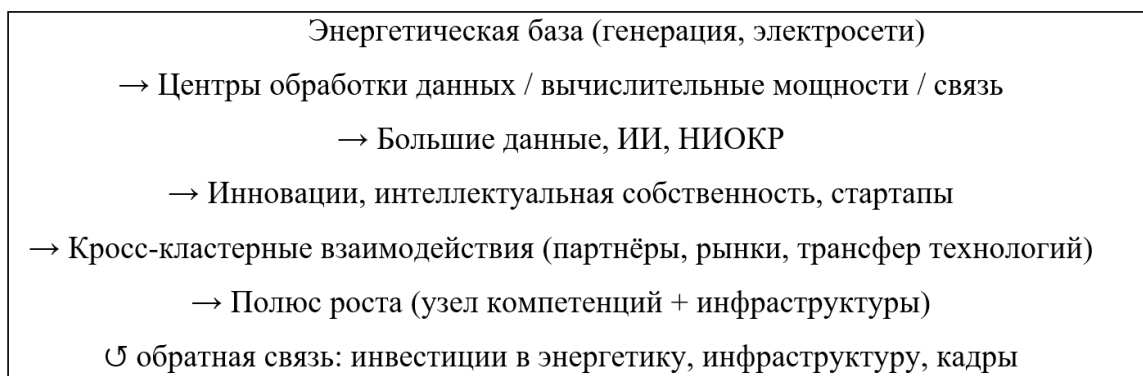


Рис. 2. Схема современного «цифрового ЭПЦ», интегрированного с полюсом роста (узлом компетенций)

Источник: составлено авторами.

В таблице 1 приведено сравнение основных характеристик классического ЭПЦ Колосовского и предложенного «ЭПЦ» шестого технологического уклада.

Таблица 1

Сравнение классического ЭПЦ (Колосовский) и цифровой ЭПЦ

Элемент	Классический ЭПЦ (середина XX в.)	ЭПЦ 6-го уклада (современная интерпретация)
Ядро цикла	Базовый источник энергии + сырье	Энергия + вычислительные ресурсы (ЦОД, облако, ИИ) + данные
Основной эффект	Комплексность переделов, снижение издержек	Рост стоимости нематериальных активов (знания, ИС, навыки, сети), ускорение инноваций
Механизм координации	Плановое управление, вертикальная интеграция	Рыночные коллаборации и платформы, кросс-кластерные связи
География	Чёткая территориальная локализация	Узловая структура: ключевые центры + экстерриториальные связи
Кадровый фактор	Важен, но вторичен (кадры следуют за производством)	Ключевой ресурс – «знающие и умеющие» специалисты

Источник: составлено авторами.

Как видно из таблицы, цифровой ЭПЦ фокусируется на преобразовании энергии в данные и знания. Его ядром являются энергосистемы и вычислительные мощности, а ключевым фактором успеха – доступ к талантам и сетям. Координация осуществляется не по планам, а через экосистемные механизмы – цифровые платформы, соглашения о партнёрстве, совместные инновационные проекты. География приобретает узловой характер: критические точки (полюса) связаны между собой цепочками создания ценности.

Инфраструктура

Инфраструктура (дороги, линии электропередачи, жильё) также является фундаментом устойчивого развития кластеров и полюсов роста. Даже в эпоху цифровой экстерриториальности инфраструктурный фактор остаётся краеугольным для кластеров. Однако его роль сместилась. Если в XX веке инфраструктура рассматривалась как условие размещения заводов, то теперь – как условие размещения людей и знаний. Современная инфраструктура включает несколько уровней:

1. Транспортная инфраструктура: быстрое сообщение (авиа- и ж/д узлы, автомагистрали) обеспечивает мобильность талантов и логистику материальных компонентов.
2. Цифровая инфраструктура: широкополосный интернет, дата-центры, облачные сервисы обеспечивает кросс-региональное взаимодействие современного кластера, без которой оно невозможно.
3. Жилищно-социальная среда: качественное жильё, городской комфорт, объекты социальной инфраструктуры (школы, медцентры, культурная среда) – всё, что привлекает высококвалифицированных специалистов и удерживает их в регионе.
4. Научно-образовательная база: университеты, исследовательские институты, инжиниринговые центры – генераторы знаний и площадки подготовки кадров.
5. Инновационная инфраструктура: технопарки, бизнес-инкубаторы, акселераторы стартапов, коворкинги, выставочные и конгресс-центры – всё то, что помогает новым идеям пройти путь от лаборатории до рынка.

Для развития кластеров нового типа важно сочетание всех перечисленных компонентов. Исследования показывают, что регионы с более высоким уровнем развития инфраструктуры демонстрируют большую инновационную активность (больше патентов, стартапов и т.д.). Поэтому инфраструктура выступает необходимым условием устойчивости полюсов роста даже при распределённости инновационных процессов, а ключевые узлы должны обладать хорошей материально-технической базой, иначе они уступят конкуренцию за таланты и инвестиции (см. [11]). Например, если регион претендует стать IT-кластером, но испытывает дефицит электроэнергии или интернет-каналов, то перспективы ограничены – компании просто переместят вычисления в места с лучшей инфраструктурой. Аналогично, отсутствие комфорта для жизни не позволит привлечь специалистов мирового уровня, как бы ни были велики

инвестиции в заводы [23]. Таким образом, кластерная политика в шестом укладе во многом сводится к созданию «умных» территорий с высоким качеством инфраструктуры, которые способны служить платформой для межотраслевых инноваций.

Показатели и методы оценки эффективности современных кластеров

Одной из сложных задач кластеризации является оценка эффективности инновационных кластеров и полюсов роста. Если в традиционных кластерах успех мог измеряться приростом промышленного производства или снижением себестоимости, то в кластерах знаний прямая измеримость затруднена. Причина – доминирование нематериальных активов и сетевых эффектов, вклад которых в конечный результат трудно выделить количественно. В ранее опубликованных исследованиях авторами было показано, что единая признанная на международном уровне методология оценки кластеров пока не сложилась. Разные страны применяют разные показатели (см. [10,11]). Тем не менее, прослеживается общая тенденция: переход от оценки по объёму выпуска к оценке по качественным маркерам, таким как человеческий капитал и инновационная активность.

В Евросоюзе, например, всё больше внимания уделяется концентрации талантов – числу специалистов с передовыми навыками, занятых в кластере. Логика в том, что кластер – это в первую очередь скопление знаний и умений, а не просто заводов. Таким образом, кластер с высокой концентрацией «ноу-хау» обладает большим потенциалом роста. Помимо этого, оценивается эффективность кластерных программ развития, качество инфраструктуры, количество созданных технологий и стартапов и т.д.

Исходя из обзора литературы и предложений отечественных исследователей, можно сформировать интегральную систему показателей для мониторинга и сравнения инновационных кластеров (полюсов роста). Предлагается следующий минимальный набор индикаторов (K, S, T, I, X, E), охватывающих ключевые аспекты:

– K (Knowledge) – знание: численность *научно-исследовательского персонала*, занятых в кластере (исследователей, инженеров R&D). Этот показатель отражает запас генерируемых знаний («знающих» специалистов).

– S (Skills) – навыки/исполнение: доля работников, занятых в высокотехнологичных отраслях, или удельная численность инженеров и IT-специалистов. Альтернативно можно использовать среднюю зарплату или производительность труда в регионе как косвенный показатель уровня навыков. Показатель S характеризует наличие «умеющих» специалистов, способных воплощать инновации на практике.

– T (Technology output) – технологический выход: количество *разработанных передовых технологий*, патентов, новых продуктов за период. Отражает непосредственный инновационный результат деятельности кластера.

– I (Infrastructure) – инфраструктурная обеспеченность: уровень развития инфраструктуры в регионе. Может оцениваться через обеспеченность населения жильём, объём ввода офисных и лабораторных площадей, пропускную способность интернет-каналов, наличие технопарков, качественных университетов и т.п. Это индикатор среды, благоприятной для инноваций.

– X (Cross-cluster interactions) – кросс-кластерная активность: количество *совместных проектов*, консорциумов или межрегиональных коопераций с участием кластера. Также можно учитывать число ко-заявок на патенты организациями из разных регионов или объём внешних инвестиций. Этот показатель отражает степень открытости кластера и его интеграцию в более широкие инновационные сети.

– E (Energy & Compute) – энергетический и вычислительный потенциал: доступная *мощность электроэнергии* для кластера, надёжность электроснабжения, средняя цена энергии, а также наличие современных вычислительных ресурсов (показатели вроде суммарной производительности ЦОД, число дата-центров, PUE и др.). Сюда же можно отнести энергоэффективность: например, удельное энергопотребление на одну инновацию.

Для интегральной оценки можно рассчитать индекс эффективности кластера/полюса роста (Cluster Efficiency Index, CEI) как сводную величину из указанных показателей.

$$CEI = w_K K_n + w_S S_n + w_T T_n + w_I I_n + w_X X_n - w_E EI_n, \quad (1)$$

где K_n, S_n, T_n, I_n, X_n – нормированные значения показателей (приведённые к определенному диапазону относительно выборки кластеров или регионов), EI_n – нормированная энергоёмкость (например, доля энергозатрат в ВРП региона, либо отношение потреблённой энергии к числу инноваций; чем выше энергоёмкость на единицу результата – тем ниже эффективность). Коэффициенты w_i – веса показателей, которые могут быть определены экспертно или статистически (например, регрессией на фактические успехи кластеров). В формуле знак перед EI_n отрицательный, так как более высокое энергопотребление при прочих равных условиях снижает эффективность (или отражает риск дефицита мощности).

Важно понимать, что подобный индекс носит ориентировочный характер и зависит от качества исходных данных. Тем не менее, он позволяет совместно учесть как «software» факторы (знания, навыки, связи), так и «hardware» факторы (инфраструктура, энергия) при сравнении разных кластеров. Например, регион с высокими K, S, T, X , но низкой I и E (плохая инфраструктура и нехватка энергии) может отставать в эффективности от региона с более сбалансированным профилем.

Отдельного упоминания заслуживают показатели энергоэффективности цифровых узлов [18]. Широко применяется метрика PUE (Power Usage Effectiveness) – отношение общей потребляемой мощности дата-центра к мощности, потребляемой ИТ-оборудованием [22]. PUE показывает, сколько энергии тратится на вспомогательные нужды (охлаждение, потери) относительно чисто вычислительной работы; чем ближе PUE к 1,0, тем эффективнее ЦОД.

Можно предложить интегральный показатель «энергоёмкости инноваций» для полюса роста: например, отношение суммарного энергопотребления цифровой инфраструктуры к числу созданных передовых технологий за период.

$$\text{Условно, } E_{\text{per tech}} = \frac{E_{\text{DC}}}{T}, \quad (2)$$

где $E_{\text{per tech}}$ – энергоёмкость инноваций; E_{DC} – электроэнергия, потреблённая дата-центрами и ИИ-обработкой, а T – энергия, потреблённая одной инновацией в данном кластере; его снижение со временем сигнализировало бы об увеличении энергоэффективности инновационной деятельности (больше отдачи на единицу энергии).

Наконец, «в духе» Перру–Хиршмана можно оценивать «силу полюса роста» через мультипликативный эффект его влияния на окружение. Например, индикатором силы полюса может служить число новых производств, привлечённых в регион в результате деятельности полюса, или доля регионального ВРП, генерируемого связанными отраслями. Математически это может выражаться через комбинацию наших показателей T, X, K, S, I с соответствующими весами (более высокий выход технологий и связей – более сильный полюс). Подобные метрики требуют дальнейших исследований и сбора данных, однако их введение поможет количественно подкрепить концепцию полюсов роста в современной политике.

Заключение

Представленный анализ демонстрирует эволюцию теоретических основ пространственной организации экономики от классических энергопроизводственных циклов Н. Н. Колосовского через кластерную модель М. Портера к современным концепциям полюсов роста в условиях шестого технологического уклада.

Ключевой сдвиг заключается в переходе от территориально-отраслевых комплексов к сетевым экосистемам, где доминируют знания, человеческий капитал и кросс-кластерные взаимодействия, а энергия предстаёт фундаментальным ресурсом цифровой экономики. Предложенная система индикаторов (K, S, T, I, X, E) позволяет комплексно оценивать эффективность таких формирований, учитывая как материальную базу, так и нематериальные активы.

Современная кластерная политика должна фокусироваться на создании «умных территорий» – узлов с хорошей инфраструктурой, способных притягивать таланты и инвестиции.

Наследие классических теорий сохраняет значение, но требует адаптации к реалиям цифровизации и сетевых инноваций.

Перспективы дальнейших исследований связаны с эмпирической апробацией предложенных метрик и моделированием цифровых ЭПЦ на конкретных примерах.

Литература

1. Алаев Э. Б. Социально-экономическая география. - М.: Мысль, 1983. - 350 с.
2. Ведомости. 15.12.2025. Путин поручил проработать размещение ЦОДов в энергопрофицитных регионах. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/news/2025/12/15/1163449-putin-poruchil-prorabotat> (дата обращения: 15.12.2025).
3. Глазьев С. Ю. Теория технологических укладов. - М.: Экономика, 2017. - 448 с.
4. Глазьев С.Ю. Экономическая теория технического развития. - М.: Наука, 1990.
5. Гранберг А. Г. Основы региональной экономики. - М.: ГУ ВШЭ, 2004. - 495 с.
6. Индекс конкурентоспособности регионов России 2024 AV RCI-2023. URL: <https://cdn.av-group.ru/files/469c2bb1ca0e4f1c880916f2030a5e0d.pdf> (дата обращения: 26.12.2025 г.).
7. Колосовский Н. Н. Производственно-территориальное сочетание (комплекс) в советской экономической географии // Вопросы географии. - 1947. - Вып. 6. - С. 133–168.
8. Колосовский Н. Н. Основы экономического районирования. - М.: Госполитиздат, 1958. - 200 с.
9. Куценко Е.С. Зависимость от предшествующего развития пространственного размещения экономических агентов и практика оценки агломерационных эффектов. URL: <https://publications.hse.ru/pubs/share/folder/tcx8hieqqh/67984723.pdf> (дата обращения: 26.12.2025).
10. Медведева О.Е., Абрамов А.А., Хребтов А.В. Методология формирования кластерных и кросс- кластерных взаимодействий на примере лидирующих стран в инновационной сфере // Имущественные отношения в Российской Федерации. - 2021. - № 5 (236).
11. Медведева О.Е. Современные методологические проблемы кластеризации экономики // Наукосфера. - 2022. - № 4(1). - С. 127–138. - URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_48587950_47292764.pdf (дата обращения: 26.12.2025).
12. Перру Ф. Экономика XX века. - М.: Экономика, 2007. - 544 с.
13. Data Centers and the future of electricity demand. URL: <https://aleasoft.com/data-centers-future-electricity-demand/> (дата обращения: 26.12.2025 г.).
14. European Commission/ Industrial cluster policy. URL: https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/cluster_en (дата обращения: 26.12.2025).
15. Hirschman A.O. The Strategy of Economic Development. - New Haven: Yale University Press, 1958. - 217 p.
16. IEA. Electricity 2024. Executive summary. URL: <https://www.iea.org/reports/electricity-2024/executive-summary> (дата обращения: 26.12.2025 г.).
17. IEA. Energy and AI. World Energy Outlook Special Report. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/601eaec9-ba91-4623-819b-4ded331ec9e8/EnergyandAI.pdf> (дата обращения: 26.12.2025 г.).
18. International Energy Agency (IEA). Energy and AI: Analytical Report. - Paris: IEA, 2023.
19. Joule. Energy costs of machine learning. - Joule, 2019. Lucas R. E. On the mechanics of economic development // Journal of Monetary Economics. - 1988. - Vol. 22. - P. 3–42. Arrow K. The Economic Implications of Learning by Doing // Review of Economic Studies. - 1962. - Vol. 29. - P. 155–173.
20. Porter M. E. The Competitive Advantage of Nations. - New York: Free Press, 1990.
21. Porter M. E. Clusters and the New Economics of Competition // Harvard Business Review. - 1998. - Vol. 76, No. 6. - P. 77–90.
22. Power Usage Effectiveness (PUE). URL: <https://www.sunbirdcim.com/glossary/power-usage-effectiveness-pue> (дата обращения: 26.12.2025 г.).
23. Tech Cities: The Global Intersection of Talent and Real Estate. URL: <https://www.cushmanwakefield.com/en/insights/tech-cities-the-global-intersection-of-talent-and-real-estate>. (дата обращения: 26.12.2025 г.).

24. The U.S. Cluster Mapping Project. URL: <https://www.eda.gov/archives/2021/about/cluster-mapping/> (дата обращения: 26.12.2025).
25. U.S. Energy Information Administration (EIA). Tracking electricity consumption from U.S. cryptocurrency mining operations // Today in Energy. – 01.02.2024. URL: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=61364> (дата обращения: 26.12.2025 г.).
26. Vivek Wadhwa. Industry clusters: The modern-day snake oil. Washington Post. 2011. URL: https://www.washingtonpost.com/national/on-innovations/industry-clusters-the-modern-day-snakeoil/2011/06/19/gIQAMtx3EI_story.html (дата обращения: 26.12.2025).

References

1. Alaev, E. B., Socioeconomic Geography. Moscow: Mysl, 1983, 350 p.
2. Vedomosti. December 15, 2025. Putin Ordered a Study of Data Center Locations in Energy-Supplement Regions. Available at: <https://www.vedomosti.ru/business/news/2025/12/15/1163449-putin-poruchil-prorabotat> (Accessed December 15, 2025).
3. Glazhev, S. Yu., Theory of Technological Structures. Moscow: Economica, 2017, 448 p.
4. Glazhev, S. Yu., Economic theory of technical development. - Moscow: Nauka, 1990.
5. Granberg, A. G., Fundamentals of Regional Economics. Moscow: HSE, 2004, 495 p.
6. The Competitiveness Index of Russian Regions 2024 AV RCI-2023. URL: <https://cdn.av-group.ru/files/469c2bb1ca0e4f1c880916f2030a5e0d.pdf> (Accessed: 26.12.2025).
7. Kolosovsky N. N. Production-territorial combination (complex) in Soviet economic geography // Voprosy geografii. - 1947. - Issue. - pp. 133-168.
8. Kolosovsky N. N. Fundamentals of Economic Zoning. - Moscow: Gospolitizdat, 1958. - 200 p.
9. Kutsenko E.S. Dependence on the previous development of the spatial distribution of economic agents and the practice of assessing agglomeration effects. URL: <https://publications.hse.ru/pubs/share/folder/tcx8hieqqh/67984723.pdf> (Accessed: 26.12.2025).
10. Medvedeva O.E., Abramov A.A., Khrebtov A.V. Methodology for the Formation of Cluster and Cross-Cluster Interactions Using the Example of Leading Countries in the Innovation Sphere // Property Relations in the Russian Federation. - 2021. - No. 5 (236).
11. Medvedeva O.E. Modern Methodological Problems of Economic Clustering // Naukosphere. - 2022. - No. 4 (1). - P. 127-138. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_48587950_47292764.pdf (accessed: 26.12.2025).
12. Perroux F. Economy of the 20th Century. – Moscow: Economy, 2007. – 544 p.
13. Data Centers and the future of electricity demand. URL: <https://aleasoft.com/data-centers-future-electricity-demand/> (Accessed 26.12.2025).
14. European Commission/ Industrial cluster policy. URL: https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/cluster_en (Accessed 26.12.2025).
15. Hirschman A.O. The Strategy of Economic Development. – New Haven: Yale University Press, 1958. – 217 p.
16. IEA. Electricity 2024. Executive summary. URL: <https://www.iea.org/reports/electricity-2024/executive-summary> (Accessed 26.12.2025).
17. IEA. Energy and AI. World Energy Outlook Special Report. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/601eaec9-ba91-4623-819b-4ded331ec9e8/EnergyandAI.pdf> (Accessed 26.12.2025).
18. International Energy Agency (IEA). Energy and AI: Analytical Report. – Paris: IEA, 2023.
19. Joule. Energy costs of machine learning. — Joule, 2019. Lucas R. E. On the mechanics of economic development // Journal of Monetary Economics. – 1988. – Vol. 22. – P. 3–42. Arrow K. The Economic Implications of Learning by Doing // Review of Economic Studies. – 1962. – Vol. 29. – P. 155–173.
20. Porter M. E. The Competitive Advantage of Nations. – New York: Free Press, 1990.
21. Porter M. E. Clusters and the New Economics of Competition // Harvard Business Review. – 1998. – Vol. 76, No. 6. – P. 77–90.
22. Power Usage Effectiveness (PUE). URL: <https://www.sunbirdcim.com/glossary/power-usage-effectiveness-pue> (Accessed 26.12.2025).

-
23. Tech Cities: The Global Intersection of Talent and Real Estate. URK: <https://www.cushmanwakefield.com/en/insights/tech-cities-the-global-intersection-of-talent-and-real-estate>. (Accessed 26.12.2025).
24. The U.S. Cluster Mapping Project. URL: <https://www.eda.gov/archives/2021/about/cluster-mapping/> (Accessed 26.12.2025).
25. U.S. Energy Information Administration (EIA). Tracking electricity consumption from U.S. cryptocurrency mining operations // Today in Energy. – 01.02.2024. URL: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=61364> (Accessed 26.12.2025).
26. Vivek Wadhwa. Industry clusters: The modern-day snake oil. Washington Post. 2011. URL: https://www.washingtonpost.com/national/on-innovations/industry-clusters-the-modern-day-snakeoil/2011/06/19/gIQAMtx3EI_story.html (Accessed 26.12.2025).

Об авторах

Глазьев Сергей Юрьевич, академик РАН, доктор экономических наук, профессор, Государственный университет управления, Москва.

Медведева Ольга Евгеньевна, доктор экономических наук, профессор, Государственный университет управления, Москва.

Савостицкий Артем Сергеевич, кандидат экономических наук, доцент, Государственный университет управления, Москва.

About authors

Sergey Y. Glazyev, Doctor of Sci (Econ.), Professor, State University of Management, Moscow.

Olga E. Medvedeva, Doctor of Sci (Econ.), Professor, State University of Management, Moscow.

Artem S. Savostitsky, Candidate of Sci (Econ.), Associate Professor, State University of Management, Moscow.