

Мурава-Серета Аурика Викторовна
Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации
Юго-Восточная академия (филиал) ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»

**Степень зрелости трансграничной инновационной системы
в контексте её социо-эколого-ориентированного развития**

Аннотация. Статья посвящена разработке научного обеспечения определения и оценивания зрелости трансграничной инновационной системы в контексте её социо-эколого-ориентированного развития. Дан анализ научных исследований по тематике, предложено авторское определение термина «степень зрелости трансграничной инновационной системы» в контексте её социо-эколого-ориентированного развития. Предложен подход к определению и оцениванию зрелости трансграничной инновационной системы в контексте её социо-эколого-ориентированного развития. В работе показано влияние на зрелость трансграничной инновационной системы таких факторов, как: этап жизненного цикла трансграничной инновационной системы как системы, устойчивость трансграничной инновационной системы как системы, мера интеграции элементов трансграничной инновационной системы, мера коэволюции компонентов трансграничной инновационной системы, мера глубины и качества трансграничного взаимодействия субъектов трансграничной инновационной системы, мера негативного воздействия трансграничной инновационной системы на окружающую среду, мера положительного воздействия трансграничной инновационной системы на социум, уровень управляемости системы. Данное исследование не только обогащает теоретическую научную базу в области трансграничных инновационных систем, но и могут быть использованы на практике. Результаты исследования могут быть использованы практиками в процессах стратегирования и в управлении трансграничными инновационными системами. Дальнейшие исследования могут быть посвящены научной проблеме формирования эталонных моделей трансграничных инновационных систем и предложению эталонных наборов параметров для оценки факторов модели.

Ключевые слова: трансграничная инновационная система, степень зрелости ТИС, социо-эколого-ориентированное развитие, устойчивость ТИС, коэволюция, ESG.

Murava-Sereda Aurika Viktorovna
Financial University under the Government of the Russian Federation
Southeastern Academy (branch) KFU named after V.I. Vernadsky"

**The ripeness level of a cross-border innovation system
in the context of its socio-ecological development**

Annotation. The article is devoted to the development of a scientific framework for defining and assessing the ripeness of a cross-border innovation system in the context of its socio-ecological-oriented development. An analysis of scientific research on the subject is provided, and the author proposes a definition of the term "maturity level of a cross-border innovation system" in the context of its socio-ecological-oriented development. A methodological approach to determining and assessing the maturity of a cross-border innovation system within this context is

introduced. The study identifies the impact of various factors on the maturity of a cross-border innovation system, including the life cycle stage of the system, the system's stability, the degree of integration of its elements, the co-evolution of its components, the depth and quality of cross-border interactions among its actors, the negative impact of the system on the environment, the positive impact on society, and the level of system governance. This study not only enriches the theoretical scientific foundation in the field of cross-border innovation systems but can also be applied in practice. The research results can be applied by practitioners in strategic planning and managing cross-border innovation systems. Future studies may address the scientific challenge of developing benchmark models for cross-border innovation systems and proposing reference sets of parameters for evaluating the model's factors.

Key words: cross-border innovation system, ripeness level of CIS, socio-ecologically oriented development, CIS sustainability, co-evolution, ESG.

Введение. В современном мире трансграничные инновационные системы (далее – ТИС) становятся залогом будущего устойчивого развития стран участниц таких систем. Однако, ТИС являются драйвером гарантом экономической и экологической безопасности, интеграционных процессов, технологического развития и достижения целей устойчивого развития только при корректном целеориентировании и продуктивном управлении системой. Общими тенденциями развития ТИС являются рост значимости экологической ответственности, партнерских отношений между субъектами системы, вектор на устойчивость. При таких условиях ТИСы могут стать основой для решения таких глобальных проблем как: изменение климата, истощение природных ресурсов, социальное неравенство и новый виток цифровизации, интеллектуализация. Несмотря на высокую значимость эффективности ТИС, вопросы изучения ТИС как сложных систем, стоящих на пути социо-эколого-ориентированного развития до сих пор не изучены. Необходим подход к созданию универсальных моделей управления и разработке стратегий их развития, в то же время, учитывающий уникальность и особенности каждой ТИС с учётом её зрелости. Различия ТИС могут быть обусловлены историческими, географическими, культурными и экономическими особенностями, что затрудняет унификацию подходов к оценке зрелости ТИС и требует особой гибкости инструментария, позволяющего, среди прочего, учесть многоаспектность и динамичность взаимодействий внутри ТИС. Для решения данной проблемы необходимо не только глубокое теоретическое осмысление, но и применение современных методологических подходов, позволяющих интегрировать множество факторов. Также необходим инструмент, позволяющий учитывать положительное и отрицательное влияние одних и тех же факторов в различных условиях развития ТИС. В условиях глобального тренда на устойчивое развитие растет запрос реального сектора на механизмы, методологию и методики, применимые для всех этапов жизненного цикла социо-эколого-ориентированного развития трансграничных инновационных систем. Таким образом, разработка инструментария изучения трансграничных инновационных систем в контексте их зрелости приобретает в последнее время не только теоретическую, но и практическую ценность. Таким образом, научная проблема, которое призвано решать настоящее исследование, сформулирована следующим образом: необходимо разработать научное обеспечение гибкого и универсального определения и оценивания зрелости трансграничной инновационной системы в контексте ее социо-эколого-ориентированного развития. Из теории систем известно, что зрелость системы предполагает наличие высокоорганизованного взаимодействия между ее элементами, компонентами. При этом, системным свойством системы является эмерджентность, выражающаяся в появлении у системы качеств или эффектов не свойственных её отдельным элементам. С учетом вышесказанного гипотеза настоящего исследования сформулирована следующим образом - уровень зрелости трансграничной инновационной системы связан с её эмерджентностью, являющейся индикатором сложной системы, которой является ТИС.

Цель. Разработать систему определения и оценивания зрелости трансграничной инновационной системы в контексте её социо-эколого-ориентированного развития.

Задачи:

- 1) дать определение термина «Степень зрелости трансграничной инновационной системы» в контексте её социо-эколого-ориентированного развития;
- 2) предложить подход к определению и оцениванию зрелости трансграничной инновационной системы в контексте её социо-эколого-ориентированного развития;
- 3) предложить классификацию трансграничных инновационных систем по уровню зрелости.

Обзор литературы. Теме развития трансграничных инновационных систем посвящено множество исследований. Так, Трипл исследует применение теории региональных инновационных систем (РИС) в трансграничном контексте. Автор утверждает, что трансграничные регионы могут развивать интегрированные инновационные пространства, но это значительно варьируется в зависимости от местных условий. В исследовании подчеркивается, что трансграничные регионы значительно различаются по своей способности способствовать интегрированным инновационным системам. Факторы, такие как исторические связи, экономические различия и культурные особенности, могут как препятствовать, так и способствовать совместной работе [1]. Лундквист и Трипл в работе [2] выделяют различные типы ТИС, основываясь на расстоянии и близости между регионами, а также подчеркивают важность адаптации теоретических подходов к специфике трансграничных регионов. Авторы [3] проводят систематический обзор факторов, способствующих и ограничивающих развитие устойчивых трансграничных инновационных систем, классифицируя их на способствующие и ограничивающие. Корхонен и его коллеги [3] предоставили соображения о том, как можно развивать устойчивые трансграничные региональные инновационные системы с учетом различных факторов, влияющих на их эффективность. Работа Ван Цзюэ и его коллег [4] предоставляет полезные выводы о потенциале трансграничных региональных инновационных систем в контексте Гонконга и Шэньчжэня, акцентируя внимание на важности сотрудничества, когнитивной близости и глобальных связей для достижения устойчивого развития. Авторы [5] подчеркивают, что инновационные кластеры являются важным инструментом для стимулирования инвестиций и инноваций в трансграничных регионах. Они способствуют объединению ресурсов и знаний, что позволяет повысить конкурентоспособность. Автор [6] указывает, что выделяют следующие этапы формирования трансграничной инновационной системы: 1) асимметричная стоимостно-управляемая система, с низким уровнем интеграции; 2) слабосимметричная знания-управляемая система со средним уровнем интеграции; 3) симметричная инновация-управляемая система с высоким уровнем интеграции. Авторы [7] в своем исследовании доказали следующее: «Трансграничные процессы при определенной зрелости трансграничного региона могут господствовать в регионе. Предложена типизация процессов, протекающих в трансграничных регионах, а также индикатор наличия функционирующего трансграничного региона, признаки пограничности градиента трансграничного процесса, процессов, протекающих в трансграничных регионах, в том числе для когерентных процессов, дана классификация границ.». Также представляют интерес направления работ авторов, посвященных исследованию трансграничных инновационных систем с 2020 года и приведенные в табл.1.

Таблица 1. Обзор научных работ, посвященных исследованию трансграничных инновационных систем.

Страна	Автор
Финляндия	Korhonen JE, Koskivaara A, Makkonen T, Yakusheva N, Malkamäki A. Resilient cross-border regional innovation systems for sustainability? A systematic review of drivers and constraints. Innovation: The European Journal of Social Science Research. 2021 Apr 3;34(2):202-21.[8]

Страна	Автор
Финляндия	Cappellano F, Sohn C, Makkonen T, Kaisto V. Bringing borders back into cross-border regional innovation systems: Functions and dynamics. <i>Environment and Planning A: Economy and Space</i> . 2022 Aug;54(5):1005-21.[9]
Сингапур, Китай	Wang J, Chandra K, Du C, Ding W, Wu X. Assessing the Potential of Cross-border regional innovation Systems: A case study of the Hong Kong-Shenzhen region. <i>Technology in Society</i> . 2021 May 1;65:101557. [10]
Китай	Zhao Y, Lyu L, Grimes S. An Analytical Framework for Cross-border Regional Innovation Ecosystems: The Case of Shenzhen–Hong Kong Cross-border Region. <i>Tijdschrift voor economische en sociale geografie</i> . 2024 Feb 29. [11]
Украина	Kopylyuk O, Tymchyshyn J, Muzychka O. Formation And Implementation Of Innovation Policy Of Cross-Border Regions. <i>Baltic Journal of Economic Studies</i> . 2021;7(4):108-15. [12]
Китай	Chandra K, Wang J, Luo N, Wu X. Asymmetry in the distribution of benefits of cross-border regional innovation systems: the case of the Hong Kong–Shenzhen innovation system. <i>Regional studies</i> . 2023 Jul 3;57(7):1303-17. [13]
Мексика	Delgado-Saldivar MA, Wong-González P. The configuration of cross-border regional innovation systems in Europe: Lessons for the Arizona-Sonora Region at the Mexico-United States border. <i>Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional</i> . 2020 Dec;30(56). [14]
Финляндия, Италия	Cappellano F, Makkonen T. Cross-border regional innovation ecosystems: the role of non-profit organizations in cross-border cooperation at the US-Mexico border. <i>GeoJournal</i> . 2020 Dec;85(6):1515-28. [15]
Китай	Yuan M. Navigating across cross-border regional innovation systems: institutional entrepreneurs in China's Greater Bay Area. <i>HKU Theses Online (HKUTO)</i> . 2023. [16]
Нидерланды, Австрия, Италия	Neuberger S, Knickel M, Klerkx L, Saatkamp H, Darr D, Oude Lansink A. Do innovation support services meet the needs of agri-food SMEs in cross-border regions? A case study from the Euregio Rhine-Waal. <i>The Journal of Agricultural Education and Extension</i> . 2024 Oct 19;30(5):653-81. [17]
Нидерланды, Германия	Neuberger S, Saatkamp HW, Oude Lansink AG, Darr D. Can differences in innovativeness between European cross-border regions be explained by factors impeding cross-border business interaction?. <i>Plos one</i> . 2021 Nov 11;16(11):e0258591. [18]
Нидерланды	Havinga T. Enhancing Innovation Ecosystems: An Analysis of Cross-Border Collaboration in the North Netherlands region (Doctoral dissertation). [19]
Ирландия	Lalrindiki M, O’Gorman B. The role of proximity in developing an inter-regional innovation system. <i>Triple Helix</i> . 2021 Dec 17;8(3):534-77. [20]
Португалия, Испания	Rodrigues R, Sampaio C, Duarte P, Hernández-Mogollón JM. Cross-Border Innovation: Assessing Concepts, Contexts, and Content. <i>Sustainability</i> . 2022 Nov 23;14(23):15581. [21]
Германия	Bai C, Chu H, Hassink R. Regional Innovation Systems: Evolution, Transition, and Future Agenda. <i>GEIST Working Paper Series</i> ; 2024. [22]

Источник: составлено автором.

В то же время, в научной литературе отсутствуют исследования, посвященные разработке научного обеспечения определения и оценивания уровня зрелости трансграничной инновационной системы в контексте её социо-эколого-ориентированного развития. Таким образом, настоящее исследование является актуальным и своевременным.

Методы исследования. Проведен обзор существующих исследований, концептуальный подход использован для анализа существующей литературы, сравнительный анализ для выявления общих тенденций и различий в развитии

трансграничных инновационных систем, также для математического аппарата настоящего исследования были использованы – кластерный анализ, регрессионный анализ, векторный анализ и теория графов.

Результаты и обсуждение.

Анализ научной литературы показал отсутствие устоявшегося определения термина «степень зрелости трансграничной инновационной системы» в контексте её социо-эколого-ориентированного развития.

В то же время, автор считает достойными внимания следующие подходы к определению содержания термина «степень зрелости трансграничной инновационной системы» в контексте её социо-эколого-ориентированного развития – подход основанный на следующих характеристиках: 1) мере устойчивости трансграничной инновационной системы с позиции теории систем (далее ТИС), 2) мере интегрированности ТИС, 3) мере инновационности ТИС, 4) мере устойчивости процессов ТИС, 5) совокупной мере компетентности субъектов ТИС, 6) мере устойчивого прироста инновационности ТИС, 7) мере адаптивности ТИС, 8) мере коэволюции компонентов ТИС, 9) мере экономической эффективности ТИС, 10) мере трансграничного взаимодействия субъектов ТИС, 11) мере совершенства управления процессами ТИС, 12) мере сложности и эффективности взаимосвязей элементов ТИС, 13) мере устойчивости функционирования, как экосистемы с заданным негативным воздействием на окружающую среду и заданным положительным воздействием на социум.

Перечисленные подходы по-отдельности характеризуются рядом недостатков, а именно: преобладанием одного из факторов развития ТИС, излишним обобщением, либо наоборот, недостаточным отражением многоаспектности термина, сужением термина до исключительно инновационного контекста, излишней громоздкостью, низкой практикоориентированностью.

Автор предлагает при определении термина «степень зрелости трансграничной инновационной системы» в контексте её социо-эколого-ориентированного развития учитывать: этап жизненного цикла ТИС с позиций системного подхода, состояние и динамику её устойчивости, как системы, инновационности, интегрированность её элементов, коэволюцию её компонентов и трансграничное взаимодействие её субъектов, меру её управляемости, меру её эколого-ориентированности и меру её социо-ориентированности.

Таким образом, автором предложено следующее определение термина «степень зрелости трансграничной инновационной системы» в контексте её социо-эколого-ориентированного развития: «степень зрелости трансграничной инновационной системы – это многомерная характеристика, отражающая текущий этап жизненного цикла системы, её устойчивость как системы, меру интеграции её элементов и меру коэволюции её компонентов, глубину и качество трансграничного взаимодействия её субъектов, меру негативного воздействия ТИС на окружающую среду, меру положительного воздействия ТИС на социум и меру ее управляемости».

Количественно измерять степень зрелости трансграничной инновационной системы в контексте её социо-эколого-ориентированного развития предложено следующей формулой:

$$\text{CISripeness} = \alpha_1 * \text{LC}_{\text{level}} + \alpha_2 * \text{St}_{\text{level}} + \alpha_3 * \text{Int}_{\text{level}} + \alpha_4 * \text{CoEV}_{\text{level}} + \alpha_5 * \text{CBC}_{\text{level}} + \alpha_7 * \text{E}_{\text{level}} + \alpha_8 * \text{S}_{\text{level}} + \alpha_9 * \text{G}_{\text{level}} \quad (1),$$

где

CISripeness - степень зрелости трансграничной инновационной системы,

LC_{level} – оценка этапа жизненного цикла ТИС как системы, которая рассчитывается по формуле (4),

St_{level} – оценка устойчивости ТИС как системы, которая рассчитывается по формуле (5),

Int_{level} – мера интеграции элементов ТИС, которая рассчитывается по формуле (11),

CoEV_{level} – мера коэволюции компонентов ТИС, которая рассчитывается по формуле (12),

$СВС_{level}$ – мера глубины и качества трансграничного взаимодействия субъектов ТИС, которая рассчитывается по формуле (13-15),

E_{level} – мера негативного воздействия ТИС на окружающую среду, которая рассчитывается по формуле (16),

S_{level} – мера положительного воздействия ТИС на социум, которая рассчитывается по формуле (17),

G_{level} – уровень управляемости системы, которая рассчитывается по формуле (18),

$\alpha_1, \dots, \alpha_9$ – весовые коэффициенты факторов, которые предложено определять экспертным методом в контексте конкретных исследований.

В отдельных случаях может оказаться целесообразным учет оптимальных точек развития и исключение негативного влияния избыточных значений отдельных факторов. С этой целью предложено использовать функцию насыщения применительно к таким факторам:

$$F(x) = kx / (1 + \alpha x) \quad (2),$$

где k – коэффициент максимального вклада, α – степень насыщения.

Учёт отрицательного вклада предложено осуществлять следующим образом:

$$F(x) = \begin{cases} kx, & x \leq x_{\text{опт}} \\ k(x_{\text{опт}} - (x - x_{\text{опт}})^2), & x > x_{\text{опт}} \end{cases} \quad (3),$$

где $x_{\text{опт}}$ – оптимальное значение фактора.

Значения отдельных факторов находятся по приведенным далее формулам.

Оценка этапа жизненного цикла ТИС как системы - LC_{level} производится по этапам жизненного цикла – создание, рост, зрелость и спад. Оценка осуществляется такими параметрами, как: текущее количество субъектов ТИС, текущий объем инвестиций, текущее количество трансграничных соглашений, целевое – максимальное значение этих же показателей, а также их же динамикой и изменением динамики за исследуемый период. Для конкретного случая – исследовательской либо практической задачи составляется матрица значений вышеперечисленных параметров по периодам и весовых коэффициентов по периодам и(или) по этапам жизненного цикла. Для оценки этапа жизненного цикла используется следующая формула:

$$LC_{level} = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i * M_i * P_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (4),$$

где

W_i – весовой коэффициент метрики M ,

M_i – нормализованное значение метрики M ,

P_i – показатель принадлежности значения метрики M интервалу этапа.

Оценка устойчивости ТИС как системы St_{level} - производится с позиций энтропийного подхода в контексте эмерджентности, что позволяет учесть системные эффекты: нелинейность, синергию и координацию элементов системы. Автор отмечает особую важность учета системных эффектов для анализа трансграничной инновационной системы. Искомый фактор представляется в дискретном виде как функция равновесия, энтропии, эмерджентности и адаптивности. Расчет производится по экономическим, финансовым и правовым параметрам. Для оценки устойчивости ТИС как системы используется следующая формула:

$$St_{level} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(W_i * \Delta E_i * R_i * \left(1 - \frac{S_i}{S_{max}} \right) \right) * (1 + E_m) \quad (5),$$

где

N – количество ключевых компонентов системы,

W_i – весовой коэффициент i -го компонента,

ΔE_i – изменение ресурсного состояния i -го компонента, которое рассчитывается по формуле (6),

R_i – адаптационная способность i -го компонента, которая рассчитывается по формуле (7),

S_i – энтропия i -го компонента, которая рассчитывается по формуле (9),

S_{max} – максимально допустимый уровень энтропии i -го компонента,
 E_m – эмерджентность системы, которая рассчитывается по формуле (10).

$$\Delta E_i = \frac{E_{out,i}}{E_{in,i}} \quad (6),$$

где $E_{out,i}$ – оставшиеся ресурсы компонента системы, $E_{in,i}$ – входные ресурсы компонента системы.

Адаптационная способность i -го компонента рассчитывается по формулам (7) и (8):

$$R_i = \frac{\Delta P_i}{P_{max}} \quad (7),$$

где ΔP_i – скорость восстановления i -го компонента после внешнего воздействия, P_{max} – максимально возможный показатель скорости восстановления.

Показатель восстановления определяется как разность в функциональности i -го компонента ΔF_i в момент негативного воздействия и в заданный последующий момент времени T_i . Для расчета в реальных условиях в формуле (7) может быть введена поправка на имеющиеся ресурсы для восстановления R_i . В этом случае скорость восстановления рассчитывается по формуле (8):

$$\Delta P_i = \frac{\Delta F_i}{T_i} * R_i * (1 - E_i) \quad (8),$$

где E_i – индекс внешних ограничений, нормализованный в диапазоне $[0, 1]$.

Значение энтропии обратно устойчивости – рост энтропии приводит к потере устойчивости системой. Энтропию предложено рассчитывать по формуле (9).

$$S_i = -k \sum_j p_{ij} * \ln p_{ij} \quad (9),$$

где p_{ij} – вероятность состояния j -го элемента i -го компонента, k – константа нормализации.

Автор придерживается подхода к определению максимально допустимого уровня энтропии $S_{i,max}$, основанного на устойчивости – система считается устойчивой, если выполняется неравенство $S_i \leq S_{i,max} = \log_2(N_i)$, где N_i – количество возможных состояний.

Эмерджентность системы E_m описывает степень появления новых свойств, не присущих отдельным компонентам, характеризуется нелинейностью, определяется вкладом взаимодействий компонентов в устойчивость системы и рассчитывается по формуле (10).

$$E_m = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n (\beta_{ij} * f(p_i, p_j) * \gamma_{ij}) - \omega * \sum_{i=1}^n p_i^2 \quad (10),$$

где n – количество элементов ТИС, p_i, p_j – доли вклада компонентов в систему, $f(p_i, p_j)$ – функция взаимодействия компонентов, β_{ij} – коэффициент вклада взаимодействия (может принимать положительные и отрицательные значения), γ_{ij} – коэффициент качества взаимодействия между компонентами, ω – коэффициент внутренних ограничений на эмерджентные эффекты.

Мера интеграции элементов ТИС – Int_{level} рассчитывается по формуле (11) как взвешенная плотность связей с учетом их значимости и качества. Подход основан на анализе структуры связей между элементами ТИС через граф $G(V,E)$, где V – множество вершин графа, являющихся элементами ТИС, E – множество рёбер графа, являющихся связями между элементами ТИС.

$$Int_{level} = \frac{\sum_{(i,j) \in E} \omega_{ij} * q_{ij}}{|V| * (|V| - 1)} \quad (11),$$

где ω_{ij} – весовой коэффициент связи между элементами i и j , q_{ij} – коэффициент качества связи между элементами i и j , $|V|$ – количество элементов системы (вершин графа), $|V| * (|V| - 1)$ – максимально возможное количество связей в полном графе.

Мера коэволюции компонентов ТИС – $CoEV_{level}$ рассчитывается по формуле (12)

$$CoEV_{level} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n k_{ij} * \Delta F_{ij} * Q_{ij}}{\sum_{i=1}^n K_i} \quad (12),$$

где k_{ij} – коэффициент адаптации одного компонента к изменениям другого, ΔF_{ij} – изменения в функционале связи между компонентами, Q_{ij} – качество взаимодействия между компонентами, K_i – вклад компонента в ТИС, n – количество компонентов в ТИС.

Мера глубины и качества трансграничного взаимодействия субъектов ТИС – CBC_{level} рассчитывается с использованием аппарата векторного анализа как результирующий вектор по формулам (13-15) и позволяет представить взаимодействие субъектов ТИС как многомерное пространство, где каждый вектор отражает характеристику взаимодействия между субъектами. Вектор взаимодействия между субъектами ТИС находится по формуле (13).

$$\vec{V}_{ij} = (Q_{ij}, D_{ij}, E_{ij}, W_{ij}) \quad (13),$$

где Q_{ij} – качество трансграничного взаимодействия субъектов ТИС, D_{ij} – глубина взаимодействия субъектов ТИС, E_{ij} – интенсивность взаимодействия субъектов ТИС, W_{ij} – совместимость субъектов ТИС.

Результирующий вектор ТИС находится по формуле (14). Длина результирующего вектора – *мера глубины и качества трансграничного взаимодействия субъектов ТИС* – CBC_{level} находится по формуле (15).

$$\vec{R} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n \vec{V}_{ij} \quad (14),$$

$$CBC_{level} = |\vec{R}| = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n (Q_{ij}^2 + D_{ij}^2 + E_{ij}^2 + W_{ij}^2)} \quad (15).$$

Мера негативного воздействия ТИС на окружающую среду – E_{level} рассчитывается с применением подхода, учитывающего кумулятивное воздействие ТИС, комбинацию параметров оценки экологической составляющей для территорий и организаций в основе которой лежит ESG, а также эффекты, связанные с трансграничностью и рассчитывается по формуле (16).

$$E_{level} = \frac{E_m \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \omega_{ij} E_{ij}}{1+S} \quad (16),$$

где E_{ij} – экологическое воздействие i -го компонента на j -ю область, ω_{ij} – весовые коэффициенты связи i -го и j -го компонентов ТИС, S – энтропия, E_m – эмерджентность ТИС.

Мера положительного воздействия ТИС на социум S_{level} рассчитывается с применением подхода, учитывающего кумулятивное воздействие ТИС, комбинацию параметров оценки социальной составляющей территорий и организаций в основе которой лежит ESG, а также эффекты, связанные с трансграничностью и рассчитывается по формуле (17)

$$S_{level} = \frac{E_m \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M I_{ij} F_{ij} P_j}{(1+S)*N} \quad (17),$$

где I_{ij} – параметр социального воздействия, F_{ij} – вовлеченность социальных групп, P_j – социальная значимость сферы влияния, N – количество субъектов.

Уровень управляемости системы – G_{level} рассчитывается по формуле (18)

$$G_{level} = \frac{E_m \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M G_{ij} R_{ij}}{(1+S)*N} \quad (18),$$

где G_{ij} – качество управления компонента, оцениваемое на основе критериев прозрачности, координации и подотчетности, R_{ij} – результативность управляющего воздействия на компонент, которое рассчитывается как отношения достигнутых результатов к целевым ориентирам, N – количество компонентов ТИС.

Выводы.

Устойчивые компоненты с высокой эмерджентностью имеют короткое время восстановления даже при высоком уровне ограничений. Коэволюционные взаимодействия приводят к взаимозависимости скоростей восстановления соответствующих компонентов. Граф-ориентированный подход к оценке меры интеграции элементов ТИС позволяет при необходимости определить уровень локальной интеграции элементов и оценить насколько структура системы зависит от центральных элементов. Уровень зрелости трансграничной

инновационной системы связан с её эмерджентностью. Эмерджентность является индикатором системности ТИС – при её значениях меньше нуля можно говорить не о существовании системы, а лишь о наборе разрозненных компонентов, потенциал которых к созданию системы требует отдельного исследования. Для оценки сбалансированности трансграничных взаимодействий между субъектами ТИС можно использовать угол между результирующим вектором и вектором-эталоном идеального взаимодействия. Основываясь на предложенном подходе и анализе научных работ, автором предложена классификация трансграничных инновационных систем по степени зрелости: начальный уровень зрелости, формирующийся уровень зрелости, развивающийся уровень зрелости, высокий уровень зрелости и эталонный уровень зрелости.

Список источников

1. Tripl M. Developing cross-border regional innovation systems: Key factors and challenges. *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*. 2010 Apr;101(2):150-60.
2. Lundquist KJ, Tripl M. Distance, proximity and types of cross-border innovation systems: A conceptual analysis. *Regional studies*. 2013 Mar 1;47(3):450-60.
3. Korhonen JE, Koskivaara A, Makkonen T, Yakusheva N, Malkamäki A. Resilient cross-border regional innovation systems for sustainability? A systematic review of drivers and constraints. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*. 2021 Apr 3;34(2):202-21.
4. Wang J, Chandra K, Du C, Ding W, Wu X. Assessing the Potential of Cross-border regional innovation Systems: A case study of the Hong Kong-Shenzhen region. *Technology in Society*. 2021 May 1;65:101557.
5. Reznikova NV, Rubtsova MY, Yatsenko OM. The role of innovation clusters in building up investment and innovation strategies in the crossborder cooperation context. *Actual Problems of International Relations*. 2020 Jun 23;1(142):85-98.
6. Мурава-Середа А.В. Трансграничное сотрудничество в еврорегионе «Черное море» в развитии интеграционных процессов: монография / А.В. Мурава-Середа – Симферополь: ДИАЙПИ, 2013. – 266 с.
7. Мурава-Середа А.В., Позаченюк Е.А., Максимова В.Н., Шестакова Л.И., Вишнякова С.П., Калинин И.В. Обеспечение экологической безопасности и рационального природопользования в трансграничных регионах. *Региональные геосистемы*. 2023;47(4):630-42.
8. Korhonen JE, Koskivaara A, Makkonen T, Yakusheva N, Malkamäki A. Resilient cross-border regional innovation systems for sustainability? A systematic review of drivers and constraints. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*. 2021 Apr 3;34(2):202-21. <https://doi.org/10.1080/13511610.2020.1867518>
9. Cappellano F, Sohn C, Makkonen T, Kaisto V. Bringing borders back into cross-border regional innovation systems: Functions and dynamics. *Environment and Planning A: Economy and Space*. 2022 Aug;54(5):1005-21
10. Wang J, Chandra K, Du C, Ding W, Wu X. Assessing the Potential of Cross-border regional innovation Systems: A case study of the Hong Kong-Shenzhen region. *Technology in Society*. 2021 May 1;65:101557. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101557>
11. Zhao Y, Lyu L, Grimes S. An Analytical Framework for Cross-border Regional Innovation Ecosystems: The Case of Shenzhen–Hong Kong Cross-border Region. *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*. 2024 Feb 29.
12. Kopylyuk O, Tymchyshyn J, Muzychka O. Formation And Implementation Of Innovation Policy Of Cross-Border Regions. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2021;7(4):108-15.
13. Chandra K, Wang J, Luo N, Wu X. Asymmetry in the distribution of benefits of cross-border regional innovation systems: the case of the Hong Kong–Shenzhen innovation system. *Regional studies*. 2023 Jul 3;57(7):1303-17

14. Delgado-Saldivar MA, Wong-González P. The configuration of cross-border regional innovation systems in Europe: Lessons for the Arizona-Sonora Region at the Mexico-United States border. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*. 2020 Dec;30(56).
15. Cappellano F, Makkonen T. Cross-border regional innovation ecosystems: the role of non-profit organizations in cross-border cooperation at the US-Mexico border. *GeoJournal*. 2020 Dec;85(6):1515-28.
16. Yuan M. Navigating across cross-border regional innovation systems: institutional entrepreneurs in China's Greater Bay Area. *HKU Theses Online (HKUTO)*. 2023
17. Neuberger S, Knickel M, Klerkx L, Saatkamp H, Darr D, Oude Lansink A. Do innovation support services meet the needs of agri-food SMEs in cross-border regions? A case study from the Euregio Rhine-Waal. *The Journal of Agricultural Education and Extension*. 2024 Oct 19;30(5):653-81. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2023.2281908>
18. Neuberger S, Saatkamp HW, Oude Lansink AG, Darr D. Can differences in innovativeness between European cross-border regions be explained by factors impeding cross-border business interaction?. *Plos one*. 2021 Nov 11;16(11):e0258591
19. Havinga T. Enhancing Innovation Ecosystems: An Analysis of Cross-Border Collaboration in the North Netherlands region (Doctoral dissertation).
20. Lalrindiki M, O’Gorman B. The role of proximity in developing an inter-regional innovation system. *Triple Helix*. 2021 Dec 17;8(3):534-77.
21. Rodrigues R, Sampaio C, Duarte P, Hernández-Mogollón JM. Cross-Border Innovation: Assessing Concepts, Contexts, and Content. *Sustainability*. 2022 Nov 23;14(23):15581.
22. Bai C, Chu H, Hassink R. Regional Innovation Systems: Evolution, Transition, and Future Agenda. *GEIST Working Paper Series*; 2024.

Информация об авторе

Мурава-Серета Аурика Викторовна, к. э. н., доцент, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия; Юго-Восточная академия (филиал) ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Феодосия, Россия

Information about the author

Murava-Sereda Aurika Viktorovna, Candidate of Economics, Associate Professor, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia; Southeastern Academy (branch) of the V.I. Vernadsky KFU, Feodosia, Russia