- Е. Н. Летягина** Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Российская Федерация
- В. И. Перова** Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Нейросетевое моделирование региональных инновационных экосистем

Аннотация. В условиях становления инновационной экономики, жесткой конкуренции, быстрого развития науки и технологий и необходимости осуществления бизнес-анализа огромных потоков данных важно внедрять новые эффективные подходы к управлению региональным развитием. Исследование направлено на решение проблемы создания единой методологии формирования региональных инновационных экосистем. Методологической базой являются теории стратегического менеджмента и региональной экономики. Предложены методы использования нейросетевого моделирования для получения новых знаний, обобщения и углубления понимания совокупности фактов и теорий в области разработки инновационных экосистем в России. Нейросетевое моделирование выполнено на основе самоорганизующихся карт Кохонена и информационных технологий; многомерное пространство показателей инновационного развития регионов проанализировано путем интеллектуального анализа данных Data Mining. Систематизированы воззрения ученых в области инновационных экосистем и обоснован новый взгляд на предпринимательский экосистемный подход, который ключевые игроки, включая государство, бизнес, науку, образование и общественный сектор, могут использовать в инновационной экономике. Показана неравномерность инновационного развития регионов России и предложен методический подход к формированию инновационных экосистем. При кластеризации данных по совокупности показателей инновационного развития авторы распределили регионы на четыре кластера, доказав существенные различия между инновационными экосистемами. Анализ результатов нейросетевого моделирования обеспечил практическую и целесообразную научную основу для развития инновационных экосистем. Полученные данные могут использоваться при разработке стратегий и программ развития, направленных на стимулирование инновационных процессов в регионах.

Ключевые слова: экосистема; инновации; инновационная экосистема; региональное развитие; кластерный анализ; нейронные сети; самоорганизующиеся карты Кохонена.

Благодарности: Авторы выражают глубокую благодарность рецензентам за внимательное прочтение статьи, ценные замечания и комментарии, способствовавшие улучшению ее содержания и позволившие наиболее профессионально донести результаты исследования до научного сообщества.

Для цитирования: Летягина Е. Н., Перова В. И. (2021). Нейросетевое моделирование региональных инновационных экосистем // Journal of New Economy. Т. 22, № 1. С. 71–89. DOI: 10.29141/2658-5081-2021-22-1-4

Дата поступления: 20 июля 2020 г.

Elena N. Letiagina Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Valentina I. Perova Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Neural network modelling of regional innovation ecosystems

Abstract. The emerging innovation-based economy, intense competition, rapid technological change combined with the need to perform business analysis of huge data flows, make it increasingly important to introduce new effective approaches to regional development. The research aims at creating a unified methodology for forming regional innovation ecosystems. The methodological basis of the study includes strategic management theory and regional governance. The paper proposes a number of methods to apply neural network modelling to gain new knowledge, generalize, and achieve a better understanding of the totality of facts and theories in the field of innovation ecosystems development in Russia. The authors perform neural network modelling using artificial neural networks – Kohonen self-organising maps and information technologies; analyse the multidimensional space of innovative development indicators in regions by means of data mining. The research systematises current scholarly viewpoints on innovation ecosystems and offers a new perspective on the entrepreneurial ecosystem approach, which key players in the innovation economy, including the government, the business, the science and education, the public sector can adopt. The authors demonstrate the unevenness of Russian regions' innovative development and suggest a methodological approach for forming innovation ecosystems. When clustering data set of innovative development indicators, the authors distribute regions between the four clusters, thereby proving significant differences between the innovation ecosystems. The analysis of the results of the neural network modelling provides the practical and sound scientific underpinning for the development of innovation ecosystems. The research findings can be useful while formulating development strategies and programmes designed to stimulate innovative processes in the regions.

Keywords: ecosystem; innovation; innovation ecosystem; regional development; cluster analysis; neural networks; Kohonen self-organising maps.

Acknowledgements: The authors express grateful thanks to the reviewers for the careful reading of the paper, valuable comments and critical considerations, which helped improve its content and deliver the research findings most professionally to the academic community.

For citation: Letiagina E. N., Perova V. I. (2021). Neyrosetevoe modelirovanie regional'nykh innovatsionnykh ekosistem [Neural network modelling of regional innovation ecosystems]. *Journal of New Economy*, vol. 22, no. 1, pp. 71–89. DOI: 10.29141/2658-5081-2021-22-1-4

Received July 20, 2020

Введение

Инновационная экономика оказывает глобальное преобразующее воздействие на развитие территорий, отраслей, предприятий, качество жизни населения. Использование возможностей и потенциала инноваций и инновационных экосистем может стать одной из успешных стратегий развития регионов, в том числе в области создания новых конкурентоспособных бизнес-направлений, технологий и продуктов.

В современных условиях хозяйствования внимание научного сообщества концентрируется на решении актуальных проблем формирования предпринимательских и бизнес-экосистем, в частности проблемы моделирования региональных инновационных экосистем, отвечающих требованиям национальной экономики. Такие сложно формализуемые задачи анализа, диагностики и прогнозирования данных экосистем могут быть решены с использованием инструментария искусственных нейронных сетей и нейросетевого моделирования.

Цель исследования – нейросетевое моделирование региональных инновационных экосистем в России. Достижение поставленной цели включало решение следующих задач:

- исследование современных научных взглядов на формирование инновационных экосистем и определение характерных особенностей этих систем;
- кластерный анализ инновационного развития регионов России с использованием методов нейросетевого моделирования;
- моделирование региональных инновационных экосистем и выявление факторов их развития.

Обзор исследований

Эмпирические исследования различий в экономическом росте разных стран, проводимые европейскими учеными, доказали наличие взаимосвязей между экономическим ростом, факторами производства, институтами и предпринимательством [Acs et al., 2017a]. Учесть влияние предпринимательства на эффективность использования технологий и факторов производства позволяет экосистемный подход, основанный на методологии, объединяющей институты, общество и предпринимательство в единую систему.

В основе предпринимательского экосистемного подхода лежат современные научные теории регионального развития и исследовательские работы, базирующиеся на теории стратегического менеджмента [Scaringella, Radziwon, 2017, p. 59; Letiagina, 2020, p. 134–141]. Доказано, что исследования как регионального развития, так и стратегического управления в значительной степени игнорируют роль предпринимателей в создании новых ценностей. В свою очередь, исследования в области предпринимательства упускают из виду роль систем в объяснении эффективности предпринимательской деятельности [Acs et al., 2017b, p. 1–10]. Предпринимательский экосистемный подход может стать новым перспективным направлением изучения возникновения, роста и контекста стартапов, которые достигли успехов в развитии за счет разработки новых цифровых платформ.

Предпринимательский экосистемный подход используется во многих отраслях народного хозяйства, расширяя границы понимания сущности предпринимательства. Так, эффективное функционирование и устойчивость одного из основных генераторов инноваций – университетской предпринимательской экосистемы зависят от взаимодействия трех основных аспектов:

- структурный аспект социального капитала расширяет доступ к ресурсам;
- когнитивный аспект укрепляет отношения между участниками экосистемы;
- инвестирование в реляционный аспект повышает взаимодополняемость и лояльность в процессе эволюции экосистемы.

Активизация разработки и применения трех аспектов социального капитала в качестве одной из сторон активного управления экосистемой предпринимательства имеет потенциал улучшения результатов для всех субъектов экосистемы [Theodoraki, Messeghem, Rice, 2018, p. 153].

Исследование R. Adner, R. Kapoor [2010, p. 306] о влиянии внешней среды на развитие бизнеса на основе предпринимательского экосистемного подхода позволило установить зависимость функционирования организаций от степени воздействия внешних инновационных вызовов и их расположения в экосистеме относительно данных компаний. В результате возникает асимметрия, при которой наиболее глобальные инновационные проблемы усиливают преимущества технологических лидеров, в то время как менее значительные, нисходящие инновационные проблемы разрушают эти преимущества. Эффективность вертикальной интеграции как стратегии управления взаимозависимостью экосистем должна возрастать в течение жизненного цикла технологии [Adner, Kapoor, 2010, p. 329].

Потребности бизнеса и общества в быстром получении качественных продуктов и услуг через удобные цифровые каналы, распространение цифровых технологий, позволяющих организациям эффективно взаимодействовать с клиентами и партнерами, стимулируют развитие инновационного бизнеса и выход на рынок инновационных компаний, предоставляющих более клиентоориентированный сервис. Появление новых акторов в инновационной экосистеме и новые отношения между ними создают интересные вызовы для инновационной политики, основанной на инновационном экосистемном подходе. Необходимость увеличения количества действующих промышленных предприятий с инновационной продукцией в общем объеме производства отмечали Y. S. Potashnik et al. [2020, p. 525].

Концептуальный подход к исследованию инновационной экосистемы сформировался в 2006 г. после опубликования статьи R. Adner, где этот феномен определялся как механизмы сотрудничества, посредством которых фирмы объединяют свои индивидуальные предложения и принимают согласованное, ориентированное на клиента решение [2006, p. 98].

Впоследствии возникло множество интерпретаций инновационной экосистемы. E. G. Carayannis и D. Campbell определяют ее как многоуровневую, мультимодальную, многоузловую и мультиагентную систему систем [2009, p. 206]. Элементы этой системы состоят из инновационных метасетей (сетей инновационных сетей и кластеров знаний) и метакластеров знаний (кластеров инновационных сетей и кластеров знаний) и представляют собой агломерации человеческих, социальных, интеллектуальных и финансовых капиталов и потоков, а также культурных и технологических продуктов и методов, которые постоянно развиваются и специализируются. Инновационные сети и кластеры знаний формируются, преобразуются и проникают в различные институциональные, политические, технологические и социально-экономические области, включая государство, бизнес, научные и образовательные организации, промышленность, неправительственные организации и связанные с ними информационно-коммуникационные технологии, биотехнологии, инновационные материалы, нанотехнологии и энергетические технологии нового поколения.

К. Still и соавторы понимают под инновационными экосистемами совокупность межорганизационных, политических, экономических, экологических и технологических систем инноваций, с помощью которых стимулируется и поддерживается внутренняя и внешняя среда, способствующая росту бизнеса [Still, 2014, p. 247]. По мнению авторов, жизненно важная инновационная экосистема характеризуется постоянной перестройкой синергетических связей, способствующих ее гармоничному росту в условиях гибкого реагирования на изменяющиеся внутренние и внешние воздействия.

Характеристиками инновационной экосистемы являются:

- связи и зависимости ее субъектов;

- общие цели и задачи, формирующиеся на экосистемном уровне с акцентом на уникальную потребительскую ценность;
- общая система знаний, умений, технологий и возможностей [Adner, Kapoor, 2010, p. 306; Iansiti, Roy, 2004, p. 68–81].

Конструкцию инновационной экосистемы описали в своих работах L. A. Gomes et al. [2018, p. 30–48]. Эта система задается для совместного создания инноваций и состоит из взаимосвязанных и взаимозависимых сетевых субъектов, в число которых входят головная фирма, клиенты, поставщики, комплементарные новаторы и другие агенты в качестве регулирующих органов. Это определение подразумевает, что участники сталкиваются с сотрудничеством и конкуренцией в инновационной экосистеме, жизненный цикл которой соответствует процессу совместной эволюции.

На основе концепций инновационных систем и инновационной среды при реализации процессов инновационного экономического развития применяется экосистемный подход. Его отличительной особенностью является высокий уровень самоорганизации и кооперированности субъектов, что обеспечивает оптимизацию всех инновационных процессов и интенсификацию инновационного развития [Селиверстов, Люлюченко, 2019, с. 101].

Экосистемный подход к организации и стимулированию инновационных процессов играет ключевую роль в ускорении экономического развития регионов Российской Федерации [Макаров, 2009а, 2009b; Клейнер и др., 2011; Иваницкий, Зубкова, 2012; Ленчук, 2014; Смородинская, 2014; Дорошенко, Шеломенцев, 2017; Силин, Анимца, Новикова, 2017]. Достижение эффективных темпов экономического роста связано с необходимостью внедрения в производство высокотехнологичных инноваций и экосистемного подхода в управлении ими. Инновация характеризует экосистему, образуя локус, вокруг которого виды коэволюционируют, и выступает в качестве катализатора эволюции экосистемы [Moore, 1993, p. 75–86].

Положительный эффект в развитии инновационных экосистем обусловлен гармонизацией стратегий бизнес-структур, государственных и муниципальных органов управления, согласованностью интересов и принятия решений. С одной стороны, внедрение современных разработок, последних достижений науки и информационных технологий способствует увеличению конкурентоспособности регионов, а с другой стороны, региональные инновационные экосистемы позволяют компаниям создавать ценность, которую ни одна организация не смогла бы создать самостоятельно [Adner, 2006, p. 98].

Региональные инновационные экосистемы способны удовлетворять новые потребности, особенно со стороны научно-технической сферы и отрасли информационных технологий или кластеров, так как способны с помощью инструментов региональной политики катализировать инновации через границы отраслей или кластеров. Данные экосистемы облегчают трансверсальность потоков знаний.

Поскольку инновационные компании могут лишь частично воздействовать на свою институциональную среду, а последствия их функционирования и случайные события влияют на ход всего инновационного процесса в регионе, субъекты инновационной сети должны постоянно переосмысливать стратегии развития. Это постоянное осмысление субъектами инновационной деятельности своей позиции по отношению к внешней среде нуждается в поддержке со стороны специализированных посредников, которые будут осуществлять постоянный мониторинг инноваций и оценку инновационного развития. Инновационная политика регионов не должна стремиться к полному планированию инноваций и контролю над ними, ее задача – способствовать появлению

гибких инструментов поддержки, которые позволяют адаптивно управлять инновациями [Klerkx, Aarts, Leeuwis, 2010, p. 390]. Такими посредниками могут стать региональные агентства инновационного развития.

Р. Cooke утверждает, что регионы, в которых имеются региональные агентства инновационного развития, будут успешно использовать новые возможности горизонтального перекрестного обогащения инновационными разработками, которые становятся относительно дешевыми и легко превращаются в национальные и международные порталы знаний [Cooke, 2010, p. 831].

Формирование региональных инновационных экосистем с использованием методов нейросетевого моделирования

В ходе исследования проведено нейросетевое моделирование региональных инновационных экосистем. В соответствии с методологией статистического учета, утвержденной Федеральной службой государственной статистики, выбраны следующие 10 показателей¹, характеризующих инновационную активность и инновационное развитие регионов России за 2018 г:

X_1 – доля внутренних затрат на исследования и разработки в валовом региональном продукте (ВРП) (%);

X_2 – численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками (чел.);

X_3 – коэффициент изобретательской активности (число патентных заявок на изобретения, поданных в России, в расчете на 10 тыс. чел. населения) (%);

X_4 – прирост высокопроизводительных рабочих мест по субъектам Российской Федерации за 2018 г. (%);

X_5 – индекс производительности труда в процентах к предыдущему году (%);

X_6 – используемые передовые производственные технологии (ед.);

X_7 – число разработанных передовых производственных технологий (ед.);

X_8 – уровень инновационной активности организаций (%);

X_9 – доля инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, работ, услуг организаций промышленного производства (%);

X_{10} – доля организаций, использующих широкополосный доступ к сети Интернет, в общем числе организаций (%).

Эти показатели характеризуют:

1) инновационную деятельность организаций в РФ (согласно формам федерального статистического наблюдения № 4-инновация «Сведения об инновационной деятельности организации» и № 2-МП инновация «Сведения о технологических инновациях малого предприятия»);

2) передовые производственные технологии (по данным формы федерального статистического наблюдения № 1-технология «Сведения о разработке и (или) использовании передовых производственных технологий»);

3) использование интеллектуальной собственности (по данным формы федерального статистического наблюдения № 4-ИТ «Сведения об использовании интеллектуальной собственности»).

Система перечисленных показателей позволяет комплексно оценить инновационное развитие регионов РФ. Исходные данные приведены в табл. 1.

¹ Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. URL: www.gks.ru.

**Таблица 1. Показатели инновационной активности
и инновационного развития регионов России, 2018 г.**
Table 1. Indicators of innovative activity and innovative development of the Russian regions, 2018

Регион	Показатели									
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
Белгородская область	0,25	1 498	1,05	17	103	2 444	58	18,15	17,4	91,2
Брянская область	0,42	668	0,52	11	105	2 036	16	8,24	3,5	87,8
Владимирская область	1,14	5 082	1,85	15	101	6 810	9	13,01	2,4	92,7
Воронежская область	0,85	10 986	2,02	20	103	2 678	25	17,10	3	88,6
Ивановская область	0,34	615	5,75	16	102	1 020	15	8,13	0,2	87,1
Калужская область	1,53	8 958	1,77	12	103	4 473	51	16,62	1,5	87,3
Костромская область	0,09	138	0,74	9,8	101	1 678	–	5,83	8	80,9
Курская область	0,64	2 560	2,76	14	104	1 487	–	8,92	15,9	78,5
Липецкая область	0,09	556	0,43	15	102	2 645	5	23,58	8	94,6
Московская область	2,96	86 796	4,48	14	104	18 980	134	14,06	8,3	88,2
Орловская область	0,27	733	0,85	3,7	103	1 554	4	8,57	1,3	84,6
Рязанская область	0,51	2 516	1,61	15	103	1 728	11	16,39	5,1	87,7
Смоленская область	0,55	850	0,34	20	106	1 841	18	10,76	2,2	88,6
Тамбовская область	0,28	1 047	0,79	9,4	104	2 008	–	10,99	9,2	95,2
Тверская область	0,99	3 703	1,22	19	104	4 604	12	15,60	4,3	83,8
Тульская область	1,05	4 171	0,94	7,5	104	3 014	1	15,36	13	85,6
Ярославская область	0,93	6 170	1,47	7,5	103	2 851	26	14,18	13,6	90,1
г. Москва	1,96	204 862	5,93	20	102	14 554	145	33,76	0,8	95,1
Республика Карелия	0,39	1 201	0,44	29	102	719	9	9,18	2,4	88,6
Республика Коми	0,3	1 489	0,60	3,1	100	1 036	1	10,61	1,2	88,3
Ненецкий автономный округ	0,01	24	0,00	–2	94	78	–	2,61	–	88,1
Архангельская область	0,3	970	0,90	15	105	1 406	6	7,50	12,7	83,5
Вологодская область	0,11	551	0,66	15	104	2 833	14	8,20	1,8	86,1
Калининградская область	0,27	1 113	0,61	12	103	908	2	7,11	0,2	88,5
Ленинградская область	0,67	7 190	0,50	21	106	2 325	14	14,13	2,6	93,9
Мурманская область	0,54	2 028	0,24	2,4	102	1 380	–	11,65	0,5	87,4
Новгородская область	0,78	1 845	0,75	5,2	101	1 927	30	17,61	1,6	85,0
Псковская область	0,14	216	0,67	19	100	1 928	4	13,37	3,6	87,8
г. Санкт-Петербург	2,96	75 031	3,14	27	104	9 553	104	28,29	8,7	94,2
Республика Адыгея	0,23	271	0,26	13	104	389	–	8,17	8,9	89,1
Республика Калмыкия	0,11	147	1,21	10	103	113	45	5,63	–	77,5
Республика Крым	0,38	1 995	0,38	6,4	105	85	1	7,24	0,7	87,8
Краснодарский край	0,27	6 918	0,90	20	100	6 656	39	8,89	13,8	87,8
Астраханская область	0,09	637	0,59	7,6	107	573	5	10,42	0,1	88,5
Волгоградская область	0,42	3 695	1,08	12	98,8	2 486	–	7,99	0,5	78,8
Ростовская область	0,9	11 720	1,46	6,9	105	3 514	19	13,19	4,7	88,5
г. Севастополь	1,04	1 048	0,95	6,4	95	221	4	12,61	5,1	90,1
Республика Дагестан	0,19	1 567	0,35	8,8	98	408	8	2,24	0,1	62,0
Республика Ингушетия	0,19	175	0,04	10	99,1	28	–	10,53	–	93,0
Кабардино-Балкарская Республика	0,49	1039	0,73	7,3	99,7	283	2	10,26	–	79,6
Карачаево-Черкесская Республика	0,67	584	0,17	10	95,7	110	1	6,45	–	84,7
Республика Северная Осетия – Алания	0,26	577	1,16	5,2	95,9	184	–	9,59	–	83,6

Окончание таблицы 1

Table 1 (concluded)

Регион	Показатели									
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
Чеченская Республика	0,14	404	0,13	15	102	194	3	0,18	–	85,1
Ставропольский край	0,29	2 678	0,53	11	101	1 870	16	7,94	11,8	91,1
Республика Башкортостан	0,65	7 795	1,35	14	105	9 955	11	12,42	6,7	88,8
Республика Марий Эл	0,14	243	1,56	19	104	1 013	5	8,79	3	81,8
Республика Мордовия	0,44	982	0,88	16	102	2 716	7	16,41	25,3	89,6
Республика Татарстан	0,72	12 671	1,86	17	101	7 694	43	21,53	21,9	97,7
Удмуртская Республика	0,37	1 859	0,82	7,5	103	6 352	9	8,55	13,4	87,0
Чувашская Республика	0,73	1 687	0,75	20	104	3 407	1	30,40	11,4	91,3
Пермский край	1,1	9 848	1,08	15	103	12 381	40	10,64	18,7	90,0
Кировская область	0,64	1 744	0,68	12	103	2 735	–	12,30	9,9	87,9
Нижегородская область	5,64	40 819	1,08	12	102	8 516	12	18,11	14,7	93,0
Оренбургская область	0,09	914	0,89	13	103	1 504	1	5,44	3,2	94,3
Пензенская область	1,28	5 792	1,08	24	105	1 857	10	20,85	6,4	84,5
Самарская область	0,93	9 958	1,31	16	101	7 852	24	8,33	13,9	78,4
Саратовская область	0,63	5 593	0,88	20	103	7 628	10	11,16	2,2	79,5
Ульяновская область	3,48	5 011	0,90	16	102	2 618	91	12,30	12,3	83,5
Курганская область	0,17	616	0,62	1,9	104	1 834	1	10,74	3,2	75,4
Свердловская область	1,32	20 528	1,14	3,4	103	11 352	85	16,67	7	88,6
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	0,07	1 413	0,22	6,9	100	2 915	3	7,86	0,4	86,7
Ямало-Ненецкий автономный округ	0,01	134	0,70	4,7	115	4 242	12	8,59	–	83,8
Тюменская область	1,08	6 191	0,77	20	108	2 112	24	20,52	21,2	84,6
Челябинская область	1,46	15 162	0,77	11	101	7 358	145	16,64	5,2	86,6
Республика Алтай	0,2	123	0,05	2,3	105	203	–	6,57	–	86,0
Республика Тыва	0,45	375	0,06	12	104	69	–	1,98	–	74,3
Республика Хакасия	0,05	97	0,24	20	105	264	7	7,35	–	82,0
Алтайский край	0,33	2 455	0,60	9,9	101	2 387	1	15,40	2,9	84,6
Красноярский край	0,99	7 901	1,59	19	103	3 922	46	11,13	1,6	85,6
Иркутская область	0,34	4 157	0,65	10	104	2 909	18	8,73	0,8	79,9
Кемеровская область	0,12	1 228	0,64	11	103	3 887	3	6,25	0,7	84,0
Новосибирская область	1,9	21 711	1,64	25	104	3 507	23	10,16	6,5	80,3
Омская область	0,85	4 500	1,11	20	101	3 147	6	9,53	2,2	86,9
Томская область	2,82	9 903	2,79	14	99,6	1 745	28	17,95	3,7	80,1
Республика Бурятия	0,37	1 099	0,33	8,9	104	478	5	6,80	0,7	68,2
Республика Саха (Якутия)	0,27	2 122	0,72	31	103	834	–	8,59	0,5	73,4
Забайкальский край	0,13	500	0,14	20	101	1 211	2	5,56	–	83,7
Камчатский край	0,59	883	0,16	7,1	109	601	4	15,52	1	85,3
Приморский край	0,96	5 771	0,83	9	101	1 198	4	9,67	8,1	88,7
Хабаровский край	0,33	1 819	0,79	12	101	2 799	24	13,29	23,9	89,4
Амурская область	0,19	533	0,68	17	102	677	–	6,25	0,2	79,3
Магаданская область	0,48	553	0,35	8,5	105	571	–	10,33	0,1	84,1
Сахалинская область	0,1	707	0,08	24	108	532	2	5,98	–	87,1
Еврейская автономная область	0,15	–	0,56	9,7	103	86	1	7,25	–	83,0
Чукотский автономный округ	0,01	–	–	8,2	105	247	–	12,50	0,5	89,6

Составлено по данным Федеральной службы государственной статистики. URL: www.gks.ru.

Представим дескриптивную статистику (табл. 2), важное предназначение которой – выявление закона распределения рассматриваемых показателей. Основные характеристики: меры положения, изменчивости и формы распределения показателей, представленные в табл. 2, свидетельствуют об отсутствии симметрии в их распределениях. На это указывает различие мер центральной тенденции, которые для нормального распределения, отличающегося симметричностью и унимодальностью, совпадают. Меры выражения изменчивости, характеризующие разброс («ширину» распределения), и меры формы исследуемых показателей также подтверждают несимметричный вид их распределений.

Таблица 2. Дескриптивная статистика
Table 2. Descriptive statistics

Обобщающие показатели статистики	Исходные данные									
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
Меры положения (центральной тенденции)										
Среднее значение	0,701	8 028,46	1,015	12,993	102,655	2 999,141	18,412	11,599	5,319	85,820
Медиана	0,42	1567	0,768	11,9	102,8	1927	6	10,422	2,6	86,956
Мода	0,09	0	0	11,5	102,8	–	0	–	0	–
Интерквартильный размах (IQR)	0,71	5 156	0,639	8,4	3	2730	18	6,186	7,8	5,152
Меры изменчивости (рассеяния, вариации)										
Дисперсия	0,768	6,4·10 ⁸	1,094	41,725	8,745	12 213 650	970,864	34,81	40,36	34,48
Стандартное отклонение	0,876	2 5318,7	1,046	6,459	2,957	3 494,803	31,159	5,90	6,353	5,872
Стандартная ошибка среднего	0,095	2 746,2	0,113	0,701	0,321	379,06	3,38	0,64	0,689	0,637
Коэффициент вариации	125,03	315,4	103,0	49,71	2,88	116,53	169,23	50,87	119,4	6,843
Минимум	0,01	0	0	–1,6	94	28	0	0,179	0	61,96
Максимум	5,64	204 862	5,933	30,7	115,2	18 980	145	33,759	25,3	97, 75
Размах вариации	5,63	204 862	5,933	32,3	21,2	18 952	145	33,58	25,3	35,79
Меры формы распределения										
Асимметрия	3,152	6,336	2,957	0,353	0,320	2,235	2,767	1,297	1,372	–1,149
Эксцесс	12,858	45,463	10,609	–0,009	4,165	5,853	7,772	2,718	1,183	2,959

При изучении распределений, отличных от нормального, необходимо количественно оценить это различие, анализируя асимметрию и эксцесс. Для нормального распределения эти характеристики равны нулю. Большие значения асимметрии и эксцесса указывают на значительное смещение распределения относительно математического ожидания. При положительном значении коэффициента асимметрии распределение скошено вправо, т. е. его более длинная часть лежит правее центра математического ожидания. Из результатов в табл. 2 следует, что асимметрия, выражающая отклонение распределений показателей от симметричного распределения относительно средних значений, положительна для всех показателей, кроме X₁₀. В случае, когда распределения имеют симметричный вид, асимметрия равна нулю. Следовательно, для показателей X₁–X₉ значения коэффициентов асимметрии положительны, и распределения будут скошенными вправо, т. е. правый хвост, как правило, толще левого, а вершина смещена влево. Для показателя X₁₀, наоборот, распределение будет скошенным влево.

Значения эксцесса, характеризующего форму вершины графика одномерного распределения по вертикали, положительны у всех показателей, за исключением X_4 . Это означает, что их распределения имеют острую вершину и толстые хвосты, а распределение показателя X_4 – плоскую вершину и тонкие хвосты. При этом в распределениях показателей X_1 , X_2 , X_3 , X_6 и X_7 , у которых значение эксцесса превышает 5, по краям имеется больше значений, чем около среднего значения.

Для дальнейшего исследования исходных данных и формирования региональных инновационных экосистем использованы научный инструментарий и методология искусственных нейронных сетей.

Нейронные сети, квалифицирующиеся как важное направление искусственного интеллекта, – это современные перспективные информационные технологии исследования многомерных статистических данных, которые относятся к интеллектуальному анализу данных (Data Mining) [Hinton, Salakhutdinov, 2006, p. 504; Кузнецов, Перова, Эйвазова, 2014; Lifang, Lingling, 2014, p. 37–46].

Методы нейросетевого моделирования свободны от модельных ограничений. В настоящее время существуют искусственные нейронные сети разных архитектур и типов, которые различаются способами объединения нейронов между собой и организацией их взаимодействия. Среди множества типов нейронных сетей в качестве важнейших можно отметить многослойные сети прямого распространения, сети радиальных базисных функций, рекуррентные нейронные сети, самоорганизующиеся нейронные сети. При решении задач в условиях хаотических финансовых рынков большую эффективность показывает применение нечетких нейронных сетей, функционирование которых основывается на использовании нечетких экспертных систем и на принципах нечеткой логики [Рутковская, Пилиньский, Рутковский, 2008].

Нейросетевые технологии можно реализовать в виде быстрых аппаратных устройств, и такие реализации имеются. Однако большая часть исследований выполняется с применением программного моделирования нейронных сетей на компьютере. Нейронные сети – это адаптивные системы. Их жизненный цикл состоит из фазы обучения (или тренировки) и фазы работы. Способность нейронных сетей обучаться на основе данных окружающей среды и в результате увеличивать свою производительность относится к их самым значительным свойствам. Существуют три парадигмы обучения нейронных сетей, связанные с моделью окружающей среды, в которой функционируют конкретные нейронные сети: обучение с учителем, обучение без учителя и смешанное обучение. Первый вид обучения является контролируемым. Под учителем может пониматься либо совокупность тренировочных данных, т. е. обучающее множество, либо внешний наблюдатель, который устанавливает значение выхода нейронной сети. Альтернативная парадигма предполагает отсутствие вмешательства внешнего учителя, который контролирует процесс обучения сети. В этом случае обучение происходит с помощью различных алгоритмов: алгоритма, базирующегося на соревновательном обучении без учителя; алгоритма нейронного газа и др. Следует отметить, что это более реалистичная модель обучения в экосистеме.

Для решения задачи кластеризации регионов и наглядного отображения данных большой размерности использованы нейронные сети, относящиеся к классу нейронных сетей, обучаемых без учителя, – самоорганизующиеся карты Кохонена [Kohonen, 1990, p. 1464–1480; Aggarwal et al., 2004, p. 852; Sinha et al., 2010; Carboni, Russu, 2015; Letiagina, Perova, Orlova, 2019]. Этот инструмент позволяет не только производить кластеризацию объектов, но и выполнять многомерную визуализацию ее результатов.

Важная особенность создания таких карт состоит в необходимости использования значений только входных переменных в обучающих данных. При этом осуществляется

нелинейное проецирование многомерного пространства входных данных на топологическую карту. Нейроны карты чаще всего образуют двумерную решетку. Векторы входных данных распределяются по нейронам топологической карты в соответствии с расположением точек многомерного пространства, т. е. близко находящиеся друг к другу точки многомерного пространства будут близко расположенными нейронами топологической карты. Этот обработчик используется для поиска закономерностей в больших массивах данных.

Описанная выше особенность рассматриваемого класса нейронных сетей обусловила применение предложенного авторами нового перспективного подхода проведения кластерного анализа многомерных данных на основе самоорганизующихся карт Кохонена.

В настоящее время нейросетевые концепции реализуются в специализированных программных пакетах, среди которых отметим MATLAB, STATISTICA, Viscosity SOMine, Deductor.

В данном случае для моделирования региональных инновационных экосистем применен аналитический программный пакет Deductor.

В результате проведения кластерного анализа данных с помощью нейросетевого моделирования десятимерное пространство показателей инновационного развития регионов отобразилось с учетом топологии в виде двумерной самоорганизующейся карты (см. рисунок).

Самоорганизующаяся карта распределения регионов России по кластерам

Self-organizing map of the distribution of the Russian regions by cluster

Кластеризация данных представляет собой разбиение множества объектов (в качестве которых в нашем случае выступают регионы РФ) на компактные области (кластеры). При разделении набора объектов на кластеры – кластерного решения – требуется реализация следующих условий:

- каждый объект может принадлежать только одному кластеру;
- объекты внутри одного кластера по рассматриваемым показателям аналогичны друг другу;
- объекты из разных кластеров обладают значительными различиями.

Следует отметить, что для кластеризации многомерных данных весьма эффективен классический статистический метод кластерного анализа, основными алгоритмами которого для поиска кластеров являются метод иерархической кластеризации и метод k-средних. При этом при использовании обоих методов окончательное решение о количестве кластеров в совокупности принимает исследователь. В случае, когда исследуемые объекты описываются большим количеством различных показателей, перед проведением кластерного анализа часто осуществляется факторный анализ, позволяющий сжать многомерное пространство показателей путем выявления латентных (скрытых) факто-

ров. Метод кластеризации данных на базе искусственного интеллекта с использованием информационных технологий (самоорганизующихся карт Кохонена), предложенный в данной работе, характеризуется отсутствием модельных ограничений и позволяет визуализировать многомерное пространство показателей.

Результаты проведенного нейросетевого анализа свидетельствуют о том, что 85 регионов РФ по исследуемым показателям сгруппировались в четыре кластерных образования, формирующих региональные инновационные экосистемы.

Поскольку априори неизвестно разделение регионов РФ на кластеры и количество кластеров, инструментарием для объективной и эффективной количественной оценки качества полученного кластерного решения были выбраны индекс Дэвиса – Боулдина [Davies, Bouldin, 1979] и индекс силуэта [Kraufman, Rousseeuw, 2005]. Эти критерии относятся к внутренней проверке кластеров, которая основывается только на кластеризованных данных. Итог вычислений точности проведения кластеризации характеризуется следующими значениями: индекс Дэвиса – Боулдина (DBI) равен 2,8; индекс силуэта всей кластерной структуры – 0,3. Значения данных индексов говорят об отсутствии перекрытия кластеров и обоснованности полученных результатов кластеризации.

Кластеры 1 и 4 составили регионы с высокими значениями показателей инновационного потенциала. В кластер 2 вошли регионы с низкими значениями исследуемых показателей, а кластер 3 характеризуется значениями, которые колеблются около средних по Российской Федерации.

Количество регионов Российской Федерации в кластерах отображено в табл. 3.

Таблица 3. Размещение регионов РФ по кластерам, 2018 г.

Table 3. Distribution of the Russian regions by cluster, 2018

Показатель	Кластер			
	1	2	3	4
Количество регионов	3	33	30	19
Количество регионов, %	3,5	38,8	35,3	22,4

Видно, что имеет место сильная вариация распределения регионов по кластерам: наибольшая их часть вошла в кластер 2, наименьшая – в кластер 1 (табл. 3). Подробные сведения о составе кластеров, который в разрезе федеральных округов является различным, показаны в табл. 4.

Таблица 4. Состав кластеров

Table 4. Clusters' composition

Номер кластера	Регионы
1	г. Москва, Московская область, г. Санкт-Петербург
2	Брянская область, Костромская область, Орловская область, Республика Коми, Ненецкий автономный округ, Калининградская область, Мурманская область, Новгородская область, Республика Калмыкия, Республика Крым, Астраханская область, Волгоградская область, г. Севастополь, Республика Дагестан, Республика Ингушетия, Кабардино-Балкарская Республика, Карачаево-Черкесская Республика, Республика Северная Осетия – Алания, Чеченская Республика, Курганская область, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Ямало-Ненецкий автономный округ, Республика Алтай, Республика Тыва, Алтайский край, Иркутская область, Кемеровская область, Республика Бурятия, Камчатский край, Амурская область, Магаданская область, Еврейская автономная область, Чукотский автономный округ

Окончание таблицы 4

Table 4 (concluded)

Номер кластера	Регионы
3	Владимирская область, Воронежская область, Ивановская область, Калужская область, Липецкая область, Рязанская область, Смоленская область, Тамбовская область, Тверская область, Республика Карелия, Вологодская область, Ленинградская область, Псковская область, Республика Адыгея, Ростовская область, Ставропольский край, Республика Марий Эл, Кировская область, Оренбургская область, Пензенская область, Саратовская область, Республика Хакасия, Красноярский край, Новосибирская область, Омская область, Томская область, Забайкальский край, Республика Саха (Якутия), Приморский край, Сахалинская область
4	Белгородская область, Курская область, Тульская область, Ярославская область, Архангельская область, Краснодарский край, Республика Башкортостан, Республика Мордовия, Республика Татарстан, Удмуртская Республика, Чувашская Республика, Пермский край, Нижегородская область, Самарская область, Ульяновская область, Свердловская область, Тюменская область, Челябинская область, Хабаровский край

Табл. 5 иллюстрирует статистику средних значений рассматриваемых показателей по кластерам и общим средним значениям по России.

Таблица 5. Средние значения показателей по кластерам и общие средние значения показателей по Российской Федерации

Table 5. Average values of indicators by cluster and Russia's overall average values of the indicators

Номер кластера	Средние значения показателей									
	X ₁ , %	X ₂ , чел.	X ₃ , %	X ₄ , %	X ₅ , %	X ₆ , ед.	X ₇ , ед.	X ₈ , %	X ₉ , %	X ₁₀ , %
1	2,63	122 230	4,52	20,10	103,07	14 362	128	25,37	5,93	92,49
2	0,31	1 014	0,51	7,92	102,13	1103	5	8,49	1,01	83,19
3	0,66	4 188	1,15	17,42	103,04	2416	12	11,69	3,97	86,89
4	1,14	8 243	1,13	13,68	102,89	5419	34	14,67	14,84	87,65
Среднее значение по РФ	0,70	8 028	1,62	12,99	102,66	2 999	18	11,60	5,32	85,82

Результаты расчетов, приведенные в табл. 5, позволяют констатировать, что показатели, характеризующие инновационные экосистемы регионов, составивших кластеры 1 и 4, превышают среднероссийские показатели. При этом показатели регионов кластера 1 выше показателей инновационного потенциала регионов из других кластеров, за исключением показателя доли инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, работ, услуг организаций промышленного производства (X₉), наибольшее значение которого наблюдается в регионах, составивших кластер 4. Это указывает на то, что уровень инновационного развития данных регионов во многом обусловлен экосистемным подходом, который связан с внедрением передовых производственных технологий и оптимизацией стратегий государства и бизнеса.

Все рассматриваемые показатели инновационной деятельности регионов кластера 2 ниже показателей регионов, вошедших в кластеры 1, 3 и 4, а также общих средних по РФ показателей.

В регионах кластера 3 только четыре из десяти показателей имеют значения выше общих средних по России: прирост высокопроизводительных рабочих мест по субъ-

ектам Российской Федерации за 2018 г. (X_4), индекс производительности труда в процентах к предыдущему году (X_5), уровень инновационной активности организаций (X_8) и доля организаций, использующих широкополосный доступ к сети Интернет, в общем числе организаций (X_{10}). Данные показатели свидетельствуют о важности использования современных производственных и цифровых технологий и инноваций, что отражается на росте производительности труда, повышении квалификации работников, увеличивая уровень технологического развития в различных видах экономической деятельности регионов Российской Федерации, сформировавших данную экосистему.

Таким образом, многомерный анализ данных с применением нейросетевого моделирования позволил определить кластеры регионов с различным уровнем инновационного развития в современных условиях и выделить четыре инновационные экосистемы, для которых необходимы разные стратегии развития.

При этом важно отметить, что исследуемые показатели оказали различное влияние на формирование региональных экосистем (табл. 6).

Таблица 6. Значимость показателей при формировании инновационных кластеров, %

Table 6. Significance of indicators in the formation of innovation clusters, %

Номер кластера	Показатели									
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
1	100	100	100	93,6	18,8	100	100	100	13,1	94,5
2	100	98,8	100	100	49,8	100	99,9	99,9	100	95,7
3	20,6	81,4	44,7	99,9	58,1	75,8	86,9	7,3	86,1	66,3
4	92,5	2,9	36,4	33,7	26,3	99,2	93,9	95,9	100	79,2

В соответствии с данными табл. 6, коррелирующими со значениями показателей в табл. 5, проведем классификацию регионов РФ. Под региональным инновационным кластером будем понимать группу регионов Российской Федерации, уровень инновационного развития которых во многом обусловлен экосистемным подходом, предусматривающим внедрение передовых технологий, широкое использование интеллектуального капитала, современных информационных технологий, повышение квалификации рабочей силы и оптимизацию стратегий государства и бизнеса. Учитывая значимость системы факторов инновационного экономического развития кластерных образований, представленных в табл. 6, определим уровень инновационного развития кластера 1 как высокий, кластера 2 – низкий, кластера 3 – средний, кластера 4 – средне-высокий.

В современных условиях ужесточения конкуренции в соответствии с принципами реализации научно-технической политики Российской Федерации¹ научно-технологическое развитие регионов России обеспечивает независимость и конкурентоспособность страны за счет создания эффективных механизмов наращивания и наиболее полного использования потенциала региональных экосистемных инновационных кластеров. Полученные результаты открывают новые перспективы для обсуждений, научных изысканий и дальнейших исследований в области разработки стратегий развития, моделей и механизмов регионального управления.

¹ О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449>.

Заключение

Исследование позволяет интегрировать инструментарий нейронных сетей в процессы изучения и построения эффективных региональных инновационных экосистем. Моделирование данных экосистем с использованием предлагаемого методического подхода дает возможность определить стратегические направления корректировки управленческих решений по формированию стратегий инновационного развития и инновационной политики регионов.

Нейросетевой анализ данных позволил выявить дифференциацию регионов Российской Федерации по рассматриваемым показателям их развития. Согласно полученным результатам, для обеспечения прорывного инновационного развития российской экономики необходим фундаментально новый организационно-управленческий подход в сфере инновационной деятельности регионов, адекватный актуальным задачам и вызовам внешних условий. Такой подход привносит инновационные управленческие идеи и заставляет традиционную систему менеджмента следовать новым принципам.

Проведенная научно-исследовательская работа имеет практическую значимость как с позиции констатации фактического развития инновационного экосистемного подхода, так и с позиции его прогнозирования в регионах Российской Федерации. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку стратегий развития, моделей и организационно-экономических механизмов управления смоделированными региональными экосистемными инновационными кластерами.

Источники

Дорошенко С. В., Шеломенцев А. Г. (2017). Предпринимательская экосистема в современных социэкономических исследованиях // Журнал экономической теории. № 4. С. 212–221.

Иваницкий В. П., Зубкова Л. Д. (2012). Тенденции развития инновационных систем: региональный аспект // Финансы и кредит. № 1 (481). С. 20–25.

Клейнер Г. Б., Мишуров С. С., Ерзнкян Б. А. и др. (2011). Инновационное развитие региона: потенциал, институты, механизмы: монография. Иваново: Ивановский государственный университет. 198 с.

Кузнецов Ю. А., Перова В. И., Эйвазова Э. Н. (2014). Нейросетевое моделирование динамики инновационного развития регионов Российской Федерации // Региональная экономика: теория и практика. Т. 12, вып. 4. С. 18–28.

Ленчук Е. Б. (2014). Роль «новой индустриализации» в формировании инновационной экономики России // Институциональная среда «новой индустриализации» экономики России: сборник / под ред. Е. Б. Ленчук. Москва: Институт экономики РАН. С. 12–43.

Макаров В. Л. (2009а). Обзор математических моделей экономики с инновациями // Экономика и математические методы. Т. 45, № 1. С. 3–14.

Макаров В. Л. (2009б). Формирование экономики знаний: концепции и проблемы // Инновационное развитие: экономика, интеллектуальные ресурсы, управление знаниями / под ред. Б. З. Мильнера. Москва: ИНФРА-М. С. 11–26.

Селиверстов Ю. И., Люлюченко М. В. (2019). Модель формирования инновационной экосистемы региона // Вестник Алтайской академии экономики и права. № 10-1. С. 101–106. DOI: 10.17513/vaael.751.

Силин Я. П., Анимица Е. Г., Новикова Н. В. (2017). Региональные аспекты новой индустриализации // Экономика региона. Т. 13, вып. 3. С. 684–696. DOI: 10.17059/2017-3-4.

Смородинская Н. В. (2014). Сетевые инновационные экосистемы и их роль в динамизации экономического роста // Инновации. № 7 (189). С. 27–33.

Acs Z. J., Saul E., Mickiewicz T., Laszlo S. (2017a). *Institutions, entrepreneurship and growth: The role of national entrepreneurial ecosystems*. DOI: 10.2139/ssrn.2912453.

- Acs Z. J., Stam E., Audretsch D. B., O'Connor A. (2017b). The lineages of the entrepreneurial ecosystem approach. *Small Business Economics*, vol. 49, issue 1, pp. 1–10. DOI: 10.1007/s11187-017-9864-8.
- Adner R. (2006). Match your innovation strategy to your innovation ecosystem. *Harvard Business Review*, vol. 84, issue 4, pp. 98–107.
- Adner R., Kapoor R. (2010). Value creation in innovation ecosystems: How the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations. *Strategic Management Journal*, vol. 31, no. 3, pp. 306–333. DOI: 10.1002/smj.821.
- Aggarwal C. C., Han J., Wang J., Yu Ph. S. (2004). A framework for projected clustering of high dimensional data streams. *Proc. 30th Int. Conf. on Very large data bases (VLDB '04)*, vol. 30, pp. 852–863.
- Carayannis E.G., Campbell D. (2009). 'Mode 3' and 'Quadruple Helix': toward a 21st century fractal innovation ecosystem. *International Journal of Technology Management*, vol. 46, issue 3-4, pp. 201–234. DOI: 10.1504/ijtm.2009.023374.
- Carboni O.A., Russu P. (2015). Assessing regional wellbeing in Italy: An application of Malmquist-DEA and self-organizing map neural clustering. *Social Indicators Research*, vol. 122, issue 3, pp. 677–700. DOI: 10.1007/s11205-014-0722-7.
- Cooke P. (2010). Regional innovation systems: Development opportunities from the 'green turn'. *Technology Analysis & Strategic Management*, vol. 22, issue 7, pp. 831–844. DOI: 10.1080/09537325.2010.511156.
- Davies D. L., Bouldin D. W. (1979). A cluster separation measure. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-1, issue 2, pp. 224–227. DOI: 10.1109/TPAMI.1979.4766909.
- Gomes L. A. V., Facin A. L. F., Salerno M. S., Ikenami R. K. (2018). Unpacking the innovation ecosystem construct: Evolution, gaps and trends. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 136, pp. 30–48. DOI: 10.1016/j.techfore.2016.11.009.
- Hinton G. E., Salakhutdinov R. R. (2006). Reducing the dimensionality of data with neural networks. *Science*, vol. 313, issue 5786, pp. 504–507. DOI: 10.1126/science.1127647.
- Iansiti M., Roy L. (2004). Strategy as ecology. *Harvard Business Review*, vol. 82, issue 3, pp. 68–81.
- Klerkx L., Aarts N., Leeuwis C. (2010). Adaptive management in agricultural innovation systems: The interactions between innovation networks and their environment. *Agricultural Systems*, vol. 103, issue 6, pp. 390–400. DOI: 10.1016/j.agsy.2010.03.012.
- Kohonen T. (1990). The self-organizing map. *Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers*, vol. 78, issue 9, pp. 1464–1480.
- Kraufman L., Rousseeuw P. (2005). *Finding groups in data: An introduction to cluster analysis*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc. 342 p. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470316801.ch1.analysis>.
- Letiagina E., Perova V., Orlova E. (2019). Neural network analysis of the development of physical education and sports in Russia as an economic factor of country security. *Proc. 4th Int. Conf. on Innovations in Sports, Tourism and Instructional Science (ICISTIS 2019)*, no. 11, pp. 174–179. DOI: <https://doi.org/10.2991/icistis-19.2019.37>.
- Letiagina E. N., Trifonov Y. V., Trifonova E. Y., Vizgunov A. N., Grinevich J. A. (2020). Methodological approach to analysis of management systems using the graph theory in the digital economy. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 91, pp. 134–141.
- Lifang P., Lingling L. (2014). A service innovation evaluation framework for tourism e-commerce in China based on BP neural network. *Electronic Markets*, vol. 24, issue 1, pp. 37–46. DOI: 10.1007/s12525-013-0148-0.
- Moore J. F. (1993). Predators and prey: A new ecology of competition. *Harvard Business Review*, vol. 71, issue 3, pp. 75–86.
- Potashnik Y. S., Artemyeva M. V., Kuznetsova S. N., Garin A. P., Letyagina E. N. (2020). The status and trends in innovative activity of industrial enterprises of Nizhny Novgorod region. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 73, pp. 525–534. DOI: 10.1007 / 978-3-030-32015-7_16.
- Scaringella L., Radziwon A. (2017). Innovation, entrepreneurial, knowledge, and business ecosystems: Old wine in new bottles? *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 136, pp. 59–87. DOI: 10.1016/j.techfore.2017.09.023.

Sinha S., Singh T. N., Singh V. K., Verma A. K. (2010). Epoch determination for neural network by self-organized map (SOM). *Computational Geosciences*, vol. 14, issue 1, pp. 199–206. DOI: 10.1007/s10596-009-9143-0.

Still K., Huhtamäki J., Russell M. G., Rubens N. (2014). Insights for orchestrating innovation ecosystems: The case of EIT ICT Labs and data-driven network visualizations. *International Journal of Technology Management*, vol. 66, issue 2-3, pp. 243–265. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2014.064606>

Theodoraki C., Messegheem K., Rice M.P. (2018). A social capital approach to the development of sustainable entrepreneurial ecosystems: an explorative study. *Small Business Economics*, vol. 51, issue 1, pp. 153–170. DOI: 10.1007/s11187-017-9924-0.

Информация об авторах

Летягина Елена Николаевна, кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой управления в спорте Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского, 603950, РФ, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23
Контактный телефон: +7 (831) 462-34-81, e-mail: helenlet@yandex.ru

Перова Валентина Ивановна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры математического моделирования экономических процессов Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского, 603950, РФ, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23
Контактный телефон: +7 (831) 465-66-92, e-mail: perova_vi@mail.ru

...

References

Doroshenko S. V., Shelomentsev A. G. (2017). Predprinimatel'skaya ekosistema v sovremennykh sotsioekonomicheskikh issledovaniyakh [The entrepreneurial ecosystem in the contemporary socio-economic studies]. *Zhurnal ekonomicheskoy teorii = Russian Journal of Economic Theory*, no. 4, pp. 212–221. (in Russ.)

Ivanitskiy V. P., Zubkova L. D. (2012). Tendentsii razvitiya innovatsionnykh sistem: regional'nyy aspekt [Trends in the development of innovation systems: Regional aspect]. *Finansy i kredit = Finance and Credit*, no. 1 (481), pp. 20–25. (in Russ.)

Kleyner G. B., Mishurov S. S., Erznkryan B. A. et al. (2011). *Innovatsionnoe razvitie regiona: potentsial, instituty, mekhanizmy* [Innovative development of a region: Potential, institutions, mechanisms]. Ivanovo: Ivanovo State University. 198 p. (in Russ.)

Kuznetsov Yu. A., Perova V. I., Eyvazova E. N. (2014). Neyrosetevoye modelirovanie dinamiki innovatsionnogo razvitiya regionov Rossiyskoy Federatsii [Neural network modeling of regional innovative development dynamics in the Russian Federation]. *Regionalnaya ekonomika: teoriya i praktika = Regional Economics: Theory and Practice*, vol. 12, issue 4, pp. 18–28. (in Russ.)

Lenchuk E. B. (2014). The role of new industrialization in shaping Russia's innovative economy. In: Lenchuk E. B. (ed.) *Institutsional'naya sreda "novoy industrializatsii" ekonomiki Rossii* [Institutional environment of the new industrialization of the Russian economy]. Moscow: Institute of Economics of RAS, pp. 12–43. (in Russ.)

Makarov V. L. (2009a). Obzor matematicheskikh modeley ekonomiki s innovatsiyami [An overview of mathematical models of economy with innovations]. *Ekonomika i matematicheskie metody = Economics and Mathematical Methods*, vol. 45, no. 1, pp. 3–14. (in Russ.)

Makarov V. L. (2009b). Building a knowledge-based economy: Concepts and challenges. In: Milner B. Z. (ed.) *Innovatsionnoe razvitie: ekonomika, intellektual'nye resursy, upravlenie znaniyami* [Innovative development: Economy, intellectual resources, knowledge management]. Moscow: INFRA-M Publ., pp. 11–26. (in Russ.)

- Seliverstov Yu. I., Lyulyuchenko M. V. (2019). Model' formirovaniya innovatsionnoy ekosistemy regiona [Model of the formation of an innovative ecosystem of the region]. *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava = Bulletin of the Altay Academy of Law and Economics*, no. 10-1, pp. 101–106. DOI: 10.17513/vaael.751. (in Russ.)
- Silin Ya. P., Animitsa E. G., Novikova N. V. (2017). Regional'nye aspekty novoy industrializatsii [Regional aspects of new industrialization]. *Ekonomika regiona = Economy of Region*, vol. 13, issue 3, pp. 684–696. DOI: 10.17059/2017-3-4. (in Russ.)
- Smorodinskaya N. V. (2014). Setevye innovatsionnye ekosistemy i ikh rol' v dinamizatsii ekonomicheskogo rosta [Network innovation ecosystems and their role in triggering the economic growth]. *Innovatsii = Innovations*, no. 7 (189), pp. 27–33. (in Russ.)
- Acs Z. J., Saul E., Mickiewicz T., Laszlo S. (2017a). *Institutions, entrepreneurship and growth: The role of national entrepreneurial ecosystems*. DOI: 10.2139/ssrn.2912453.
- Acs Z. J., Stam E., Audretsch D. B., O'Connor A. (2017b). The lineages of the entrepreneurial ecosystem approach. *Small Business Economics*, vol. 49, issue 1, pp. 1–10. DOI: 10.1007/s11187-017-9864-8.
- Adner R. (2006). Match your innovation strategy to your innovation ecosystem. *Harvard Business Review*, vol. 84, issue 4, pp. 98–107.
- Adner R., Kapoor R. (2010). Value creation in innovation ecosystems: How the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations. *Strategic Management Journal*, vol. 31, no. 3, pp. 306–333. DOI: 10.1002/smj.821.
- Aggarwal C. C., Han J., Wang J., Yu Ph. S. (2004). A framework for projected clustering of high dimensional data streams. *Proc. 30th Int. Conf. on Very large data bases (VLDB '04)*, vol. 30, pp. 852–863.
- Carayannis E.G., Campbell D. (2009). 'Mode 3' and 'Quadruple Helix': toward a 21st century fractal innovation ecosystem. *International Journal of Technology Management*, vol. 46, issue 3-4, pp. 201–234. DOI: 10.1504/ijtm.2009.023374.
- Carboni O.A., Russu P. (2015). Assessing regional wellbeing in Italy: An application of Malmquist-DEA and self-organizing map neural clustering. *Social Indicators Research*, vol. 122, issue 3, pp. 677–700. DOI: 10.1007/s11205-014-0722-7.
- Cooke P. (2010). Regional innovation systems: Development opportunities from the 'green turn'. *Technology Analysis & Strategic Management*, vol. 22, issue 7, pp. 831–844. DOI: 10.1080/09537325.2010.511156.
- Davies D. L., Bouldin D. W. (1979). A cluster separation measure. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-1, issue 2, pp. 224–227. DOI: 10.1109/TPAMI.1979.4766909.
- Gomes L. A. V., Facin A. L. F., Salerno M. S., Ikenami R. K. (2018). Unpacking the innovation ecosystem construct: Evolution, gaps and trends. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 136, pp. 30–48. DOI: 10.1016/j.techfore.2016.11.009.
- Hinton G. E., Salakhutdinov R. R. (2006). Reducing the dimensionality of data with neural networks. *Science*, vol. 313, issue 5786, pp. 504–507. DOI: 10.1126/science.1127647.
- Iansiti M., Roy L. (2004). Strategy as ecology. *Harvard Business Review*, vol. 82, issue 3, pp. 68–81.
- Klerkx L., Aarts N., Leeuwis C. (2010). Adaptive management in agricultural innovation systems: The interactions between innovation networks and their environment. *Agricultural Systems*, vol. 103, issue 6, pp. 390–400. DOI: 10.1016/j.agsy.2010.03.012.
- Kohonen T. (1990). The self-organizing map. *Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers*, vol. 78, issue 9, pp. 1464–1480.
- Kraufman L., Rousseeuw P. (2005). *Finding groups in data: An introduction to cluster analysis*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc. 342 p. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470316801.ch1.analysis>.
- Letiagina E., Perova V., Orlova E. (2019). Neural network analysis of the development of physical education and sports in Russia as an economic factor of country security. *Proc. 4th Int. Conf. on Innovations in Sports, Tourism and Instructional Science (ICISTIS 2019)*, no. 11, pp. 174–179. DOI: <https://doi.org/10.2991/icistis-19.2019.37>.
- Letiagina E. N., Trifonov Y. V., Trifonova E. Y., Vizgunov A. N., Grinevich J. A. (2020). Methodological approach to analysis of management systems using the graph theory in the digital economy. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 91, pp. 134–141.

Lifang P., Lingling L. (2014). A service innovation evaluation framework for tourism e-commerce in China based on BP neural network. *Electronic Markets*, vol. 24, issue 1, pp. 37–46. DOI: 10.1007/s12525-013-0148-0.

Moore J. F. (1993). Predators and prey: A new ecology of competition. *Harvard Business Review*, vol. 71, issue 3, pp. 75–86.

Potashnik Y. S., Artemyeva M. V., Kuznetsova S. N., Garin A. P., Letyagina E. N. (2020). The status and trends in innovative activity of industrial enterprises of Nizhny Novgorod region. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 73, pp. 525–534. DOI: 10.1007 / 978-3-030-32015-7_16.

Scaringella L., Radziwon A. (2017). Innovation, entrepreneurial, knowledge, and business ecosystems: Old wine in new bottles? *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 136, pp. 59–87. DOI: 10.1016/j.techfore.2017.09.023.

Sinha S., Singh T. N., Singh V. K., Verma A. K. (2010). Epoch determination for neural network by self-organized map (SOM). *Computational Geosciences*, vol. 14, issue 1, pp. 199–206. DOI: 10.1007/s10596-009-9143-0.

Still K., Huhtamäki J., Russell M. G., Rubens N. (2014). Insights for orchestrating innovation ecosystems: The case of EIT ICT Labs and data-driven network visualizations. *International Journal of Technology Management*, vol. 66, issue 2-3, pp. 243–265. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2014.064606>

Theodoraki C., Messegheem K., Rice M.P. (2018). A social capital approach to the development of sustainable entrepreneurial ecosystems: an explorative study. *Small Business Economics*, vol. 51, issue 1, pp. 153–170. DOI: 10.1007/s11187-017-9924-0.

Information about the authors

Elena N. Letiagina, Cand. Sc. (Econ.), Associate Prof., Head of Management in Sports Dept., Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, 23 Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603950, Russia
Phone: +7 (831) 462-34-81, e-mail: helenlet@yandex.ru

Valentina I. Perova, Cand. Sc. (Physics & Maths), Associate Prof., Associate Prof. of Economic Processes' Mathematical Modelling Dept., Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, 23 Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603950, Russia
Phone: +7 (831) 465-66-92, e-mail: perova_vi@mail.ru

© Летягина Е. Н., Перова В. И., 2021