

ИССЛЕДОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ КАК ИМПЕРАТИВА УСТОЙЧИВОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА РОССИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Николай Петрович ЛЮБУШИН ^{a,*};

Елена Николаевна ЛЕТЯГИНА ^b,

Валентина Ивановна ПЕРОВА ^c

^a доктор экономических наук, профессор кафедры экономического анализа и аудита,
Воронежский государственный университет (ВГУ),
Воронеж, Российская Федерация
lubushinnp@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4493-2278>
SPIN-код: 2227-3764

^b кандидат экономических наук, доцент, заведующая кафедрой управления в спорте,
Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
имени Н.И. Лобачевского (ННГУ),
Нижний Новгород, Российская Федерация
len@fks.unn.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: 7221-4868

^c кандидат физико-математических наук, доцент кафедры
математического моделирования экономических процессов,
Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
имени Н.И. Лобачевского (ННГУ),
Нижний Новгород, Российская Федерация
perova_vi@mail.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: 3871-2450

* Ответственный автор

История статьи:

Рег. № 412/2021
Получена 19.07.2021
Получена в
доработанном виде
25.07.2021
Одобрена 04.08.2021
Доступна онлайн
30.08.2021

УДК 330.322:519.86
JEL: C45, O30, R11

Аннотация

Предмет. Исследование инновационного потенциала регионов РФ в соответствии с национальной целью развития Российской Федерации, отражающей достойный и эффективный труд.

Цели. Проведение исследования состояния инновационной деятельности в регионах Российской Федерации с помощью нейронных сетей в целях обеспечения прорывного инновационного развития российской экономики. В связи с этим рассмотрены данные Федеральной службы государственной статистики за 2019 г. и осуществлен анализ инновационной сферы развития региональной экономики России как императива устойчивого социально-экономического развития.

Методология. Применен эффективный метод исследования многомерных статистических данных, характеризующих инновационное развитие региональной экономики – кластерный анализ на базе нейросетевого моделирования с применением информационных технологий. Для проведения исследований были выбраны нейронные сети – самоорганизующиеся карты Кохонена, которые ориентированы на

самостоятельное обучение и представляются перспективным средством кластеризации и визуализации многомерных статистических данных.

Результаты. Результатом нейросетевого моделирования явилось ранжирование 85 регионов Российской Федерации на пять компактных групп (кластеров) вне зависимости от их принадлежности к федеральным округам Российской Федерации. Показано, что прослеживается сильная дифференциация количества регионов в кластерах. Получены средние значения показателей в кластерах и проведено их сравнение с общероссийскими показателями. Оценена значимость каждого показателя при формировании кластеров.

Выводы. Исследование продемонстрировало асимметрию инновационного развития регионов России, что требует различных стратегий развития региональной экономики. Прорывной социально-экономический рост в Российской Федерации связан с комплексом мер, которые предполагают стимулирование деятельности в области инноваций в регионах, характеризующихся различной инновационной активностью. Такие меры окажут содействие реальному сектору экономики в повышении его заинтересованности в использовании научных разработок, увеличении объема применения передовых производственных технологий, возрастании количества высокопроизводительных рабочих мест, что повлечет стимулирование социально-экономического роста и качества жизни населения.

Ключевые слова:

инновационная деятельность, регионы Российской Федерации, кластерный анализ, нейронные сети, самоорганизующиеся карты Кохонена, Deductor

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2021

Для цитирования: Любушин Н.П., Летягина Е.Н., Перова В.И. Исследование инновационного развития региональной экономики как императива устойчивого социально-экономического роста России с применением нейросетевого моделирования // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2021. – Т. 20, № 8. – С. 1394 – 1414.
<https://doi.org/10.24891/ea.20.8.1394>

Введение

Инновационная региональная экономика оказывает всестороннее трансформирующее влияние на развитие территорий и на качество жизни населения. Стратегические ориентиры и главенствующие направления социально-экономического развития страны определены Указами Президента Российской Федерации¹ и распоряжением Правительства Российской Федерации².

Значение инноваций особенно велико в реальном секторе экономики. Инновации представляют собой одну из стержневых движущих сил экономического роста в процессе совершенствования российской социально-экономической системы. Исследованию этой тематики посвятили свои работы В.Л. Макаров с соавторами [1, 2], Г.Б. Клейнер, С.С. Мишуров, Б.А. Ерзнкян и др. [3], Е.Б. Ленчук [4], Б.З. Мильнер [5], С.Д. Валентей, А.Р. Бахтизин, А.В. Кольчугина [6], Я.П. Силин,

¹ О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642; О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года: Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474.

² Об утверждении Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 13.02.2019 № 207-р.

Е.Г. Анимица, Н.В. Новикова [7], П.Б. Болдыревский, Л.А. Кистанова [8], Е.Л. Летягина, В.И. Перова, А.М. Подольская [9, 10], С.Н. Яшин, С.А. Борисов [11].

Инновации служат эффективным средством при формировании рынка высоких технологий, реструктуризации производства и увеличении количества высокопроизводительных рабочих мест. Конкурентоспособность регионов во многом продиктована применением новейших достижений науки и инновационных разработок, ресурсосберегающих и информационных технологий. Поэтому для настоящего момента актуально проведение исследования деятельности регионов Российской Федерации в сфере инноваций в целях оценки современного состояния и поиска способов повышения их инновационной активности, оказывающей кардинальное влияние на социально-экономический рост России и качество жизни населения. Статистические сборники по исследуемой тематике выпускают Агентство стратегических инициатив³, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»⁴.

Анализ результатов нейросетевого моделирования инновационного развития региональной экономики Российской Федерации

В настоящей работе представлены результаты исследования инновационного развития реального сектора экономики в регионах Российской Федерации. В основу исследования положены данные Федеральной службы государственной статистики по регионам Российской Федерации за 2019 г. Будем оперировать следующими девятью показателями:

- X1 – индексы промышленного производства (агрегированный индекс производства по видам экономической деятельности «добыча полезных ископаемых», «обрабатывающие производства», «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха», «водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений»), % к предыдущему году;
- X2 – прирост высокопроизводительных рабочих мест, %;
- X3 – индекс производительности труда, %;
- X4 – используемые передовые производственные технологии, ед.;
- X5 – разработанные передовые производственные технологии, ед.;
- X6 – доля инвестиций, направленных на реконструкцию и модернизацию, в общем объеме инвестиций в основной капитал по субъектам Российской Федерации, %;

³ Национальный рейтинг состояния инвестиционного климата в субъектах РФ. URL: https://asi.ru/government_officials/rating/

⁴ Индикаторы инновационной деятельности: 2017. URL: <https://www.hse.ru/primarydata/ii2017>

- X7 – объем инновационных товаров, работ, услуг, % от общего объема отгруженных товаров, выполненных работ, услуг;
- X8 – уровень инновационной активности организаций, %;
- X9 – затраты на инновационную деятельность организаций, % от общего объема отгруженных товаров, выполненных работ, услуг.

Совокупность этих показателей позволяет комплексно оценить состояние инновационной региональной экономики России.

Для анализа данных задействованы перспективные информационные технологии, в числе которых отметим методы интеллектуального анализа данных (Data Mining), которые исследовали В.А. Дюк, А.В. Флегонтов, И.К. Фомина [12], G.E. Hinton, R.R. Salakhutdinov [13], P. Lifang, L. Lingling [14], и среди них методы нейросетевого моделирования, изложенные в работе С. Хайкина [15]. Нейронные сети представляют собой один из значимых разделов искусственного интеллекта и проявили себя как высокоэффективное средство при анализе больших объемов гетерогенных статистических данных. Особенно важно, что нейросетевой подход при исследовании многомерных данных не стеснен модельными ограничениями и может иметь применение для линейных и нелинейных зависимостей.

В настоящее время для реализации нейросетевых концепций разработаны программные продукты специального назначения, описанные в работах В.С. Растункова, А.К. Петрова, В.А. Панова [16] и В.С. Медведева, В.Г. Потемкина [17]. В данной работе в качестве инструмента осуществления исследований избраны самоорганизующиеся карты (СОК) Кохонена (см., например, работы Т. Kohonen [18], Е. Letiagina, V. Perova, E. Orlova⁵), которые воплощены в аналитическом пакете Deductor.

Предпочтение, отданное самоорганизующимся картам Кохонена, связано с их основополагающим несходством с другими типами нейронных сетей. Это различие выражается в следующем:

- отсутствии модельных ограничений при анализе многомерных данных;
- СОК не запрашивают внешнего вмешательства во время процесса их обучения;
- алгоритмы обучения СОК нацелены на проецирование с учетом топологического подобия многомерного пространства входных данных в нейроны выходного слоя,

⁵ Letiagina E., Perova V., Orlova E. Neural network analysis of the development of physical education and sports in Russia as an economic factor of country security. Proceedings of the 4th International Conference on Innovations in Sports, Tourism and Instructional Science (ICISTIS 2019). Atlantis Press, 2019, no. 11, pp. 174–179.
URL: http://apps.webofknowledge.com/Search.do?product=WOS&SID=D2HBxUWKzv9E72wU5BK&search_mode=GeneralSearch&prID=dc495fc0-01cb-4461-9ba0-3217a8bdad34

который именуется слоем топологической карты и часто имеет размерность, равную двум.

Свойство сохранения топологии подразумевает следующие действия: сходные векторы входных данных СОК ранжирует по нейронам топологической карты так, что точки, дислоцированные во входном пространстве близко друг к другу, проецируются на близко расположенные нейроны СОК. В связи с этим самоорганизующиеся карты Кохонена позиционируются в качестве эффективного средства кластеризации и наглядного изображения многомерных статистических данных.

При кластеризации данных большой размерности высокую эффективность демонстрируют классические процедуры кластерного анализа, такие как метод *K*-средних, иерархический кластерный анализ, которые подробно рассмотрены в работе А.С. Балабанова, Н.Р. Стронгиной⁶.

В настоящей работе кластеризация данных проведена с применением перспективного и эффективного метода – кластерного анализа на базе нейросетевого моделирования.

Проведение кластеризации исходных данных предполагает построение кластерного решения, которое являет собой сегрегированное множество объектов в виде компактных групп (кластеров). В нашем исследовании объектами являются 85 регионов Российской Федерации.

При создании кластерного решения необходимо выполнить три требования:

- каждый объект должен присутствовать только в одном из кластеров;
- характеристики объектов по совокупности рассматриваемых показателей инновационного развития, находящихся внутри одного кластера, идентичны;
- объекты, дислоцированные в разных кластерах, имеют значительные различия.

Актуальность использования кластерного анализа многомерных данных на основе методов искусственного интеллекта индуцирован тем, что во многих случаях исследуемые данные не подчиняются нормальному закону распределения (закону Гаусса).

В *табл. 1* приведена дескриптивная статистика, важной функцией которой является выявление закона распределения рассматриваемых показателей. Результаты, представленные в *табл. 1*, констатируют, что исследуемые показатели инновационного развития региональной экономики не описываются нормальным законом распределения.

⁶ Балабанов А.С., Стронгина Н.Р. Анализ данных в экономических приложениях. Н. Новгород: ННГУ, 2004. 135 с.

Данный вывод следует из того, что базовые характеристики – меры центральной тенденции, вариации и формы распределения показателей, представленные в *табл. 1*, указывают на отсутствие симметрии в распределениях показателей. Это подтверждает различие мер центральной тенденции, которые для нормального распределения, обладающего симметричностью и унимодальностью, совпадают. Меры вариации, характеризующие разброс распределения относительно среднего значения, и меры формы исследуемых показателей также демонстрируют несимметричный вид их распределений. Коэффициенты асимметрии, олицетворяющей отклонение распределений показателей от симметричного распределения относительно средних значений в горизонтальном направлении, положительны для всех показателей. Следовательно, распределения показателей будут скошенными вправо, то есть правый хвост толще левого, а вершина передвинута влево. При симметричном виде распределения асимметрия равна нулю.

Значения эксцесса, аттестующего форму вершины графика одномерного распределения по вертикали, положительны у всех показателей, за исключением показателя X8. Это означает, что их распределения характеризуются острой вершиной и толстыми хвостами, а распределение показателя X8 имеет плоскую вершину и тонкие хвосты. При этом в распределениях показателей X1 и X5 с эксцессами, превышающими 5, по краям сосредоточено больше значений, чем около среднего значения.

Поэтому для дальнейшего исследования исходных данных применен кластерный анализ на основе нейронных сетей, который, являясь свободным от модельных ограничений, позволяет эффективно проводить анализ многомерных статистических данных.

В ходе исследования посредством нейросетевого моделирования девятимерное пространство рассматриваемых данных по регионам Российской Федерации за 2019 г. было спроецировано на плоскость. Все 85 регионов России распределились на 5 инновационных кластеров.

Ввиду того, что предварительно неизвестно количество кластеров и дифференциация регионов Российской Федерации по кластерам, инструментарием для объективной количественной оценки качества полученного кластерного решения был избран индекс силуэта, рассмотренный в работе: L. Kraufman, P. Rousseeuw [19]. Этот критерий характеризует внутреннюю проверку кластеров, которая базируется только на кластеризованных данных. Применение индекса силуэта показало отсутствие перекрытия кластеров, что является подтверждением обоснованности полученных результатов кластеризации.

Ранжирование 85 регионов по 5 инновационным кластерам приведено в *табл. 2*.

Данные, представленные на *рис. 1* и в *табл. 2*, свидетельствуют, что распределение регионов по кластерам иррегулярно. Наибольшее количество регионов входит в состав кластера № 5, наименьшее – в кластер № 2.

В *табл. 3* представлены регионы Российской Федерации, сформировавшие кластеры инновационного развития в 2019 г.

Визуализация результатов кластеризации представлена на *рис. 1*. Из данных, представленных в *табл. 3* и на *рис. 1*, имеем, что в разрезе федеральных округов регионы Российской Федерации составили инновационные кластеры, инвариантные относительно их принадлежности к федеральным округам России.

Средние значения показателей инновационной деятельности регионов по кластерам и общие средние показатели по России за 2019 г. представлены в *табл. 4*.

Из данных, представленных в *табл. 4*, видно, что показатели «индексы промышленного производства» X_1 и «индекс производительности труда» X_3 имеют наибольшие значения в регионах кластера № 5, которые превышают их средние значения по Российской Федерации. Значения показателя «прирост высокопроизводительных рабочих мест» X_2 превышает общероссийские значения в регионах, образовавших кластеры № 2 и № 3. Показатель «используемые передовые производственные технологии» X_4 превосходит общероссийский показатель в регионах, вошедших в кластеры № 1 и № 2. Значения показателя «разработанные передовые производственные технологии» X_5 выше его среднего значения по Российской Федерации в регионах кластера № 2. Показатель «доля инвестиций, направленных на реконструкцию и модернизацию, в общем объеме инвестиций в основной капитал по субъектам Российской Федерации» X_6 имеет максимальные значения в регионах кластеров № 1, № 3 и № 4. Значения показателей «объем инновационных товаров, работ, услуг» X_7 и «затраты на инновационную деятельность организаций» X_9 преобладают над их общероссийскими значениями в регионах кластеров № 1 и № 2. Значения показателя «уровень инновационной активности организаций» X_8 перекрывают их средние по Российской Федерации значения в регионах, вошедших в кластеры № 1, № 2 и № 3.

Таким образом, более половины комплекса рассматриваемых показателей инновационного развития реального сектора экономики России превосходят общероссийские показатели только в регионах, сформировавших кластеры № 1 и № 2. Это 22 региона, которые составляют 25,8% от всего количества регионов Российской Федерации.

Отметим, что исследуемые показатели по-разному повлияли на формирование региональных кластеров (*табл. 5*).

В соответствии с данными, представленными в *табл. 5*, взаимосвязанными со значениями показателей в *табл. 4*, кластерный анализ многомерных данных с

применением нейросетевого моделирования позволил определить пять региональных кластерных образований, имеющих различный уровень инновационного развития реального сектора экономики. С учетом значимости системы показателей инновационного развития, приведенных в *табл. 5*, идентифицируем уровни инновационного экономического развития кластеров: кластер № 1 имеет высокий уровень, кластер № 2 – средне-высокий, кластер № 3 – средний, кластер № 4 – низкий, кластер № 5 – средне-низкий.

В современных условиях для произведенных региональных кластерных образований требуются разные стратегии инновационного развития, вектор направленности которых связан с выполнением следующих необходимых мер:

- использованием опыта регионов-лидеров для устранения экономического дисбаланса;
- подкреплением опережения мировых тенденций научно-технологического развития;
- развитием цифровизации промышленности и сферы услуг, ростом инноваций в цифровом секторе экономики;
- генерированием регионами комплексных мер по наращиванию инвестиционной привлекательности территорий;
- деградацией количества административных барьеров в регионах.

Заключение

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» инновационное развитие регионов России укрепляет независимость, конкурентоспособность и национальную безопасность Российской Федерации [20, 21], используя создание эффективных механизмов увеличения и наиболее полного использования потенциала региональных инновационных кластеров. Проведенные исследования позволили оценить состояние инновационной деятельности в реальном секторе экономики регионов России и показали эффективность применения метода кластеризации многомерных данных на основе перспективного подхода – нейронных сетей.

Полученные результаты позволяют интегрировать инструментарий нейронных сетей, являющихся одним из разделов искусственного интеллекта, в процессы исследования и построения эффективных региональных инновационных кластеров. Предлагаемый методологический подход при моделировании инновационного развития региональной экономики дает возможность наметить стратегические

направления корректировки управленческих решений по созданию стратегий инновационного развития и инновационной политики регионов России.

Кластеризация данных на базе нейросетевого моделирования позволила выявить дифференциацию регионов Российской Федерации по рассматриваемым показателям их развития. Согласно полученным результатам, обеспечение прорывного инновационного развития российской экономики требует фундаментально нового организационно-управленческого подхода в сфере инновационной деятельности регионов. При таком подходе, который адекватен актуальным задачам и вызовам внешних условий, генерируются инновационные управленческие идеи, заставляющие традиционную систему менеджмента следовать новым принципам.

В контексте выполненных исследований результаты работы могут быть полезны как с позиции констатации фактического инновационного развития реального сектора экономики в регионах России, так и с позиции его прогнозирования. Они открывают перспективы для обсуждений и дальнейших исследований при разработке стратегий и программ развития инновационной экономики в регионах России в условиях новых глобальных вызовов национальной, в том числе экономической безопасности [9, 22, 23], а также для регулирования административных решений и бизнес-решений в целях увеличения степени конкурентоустойчивости и социально-экономического развития Российской Федерации⁷.

⁷ Любушин Н.П., Бабичева Н.Э., Лылов А.И. Оценка влияния «больших вызовов» на устойчивость и непрерывность деятельности экономических субъектов // Конкурентоспособность и развитие социально-экономических систем: материалы IV Международной научной конференции памяти академика А.И. Татаркина и научного семинара «Развитие российских регионов». Челябинск: Челябинский государственный университет, 2020. С. 69–74.

Таблица 1
Дескриптивная статистика

Table 1
Descriptive statistics

Показатель	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
Меры центральной тенденции									
Среднее значение	105,16	4,35	102,86	3 089,94	19,06	17,6	4,65	8,43	1,59
Медиана	103,7	3,4	102,5	1 994	7	17,1	3,1	8,1	1,1
Мода	102,8	2,3	102,8	176	0	13,7	0,2	5,4	0,1
Интерквартильный размах (IQR)	5,4	5,4	3,1	2 856	17	8,5	6,1	6,4	2
Меры вариации									
Дисперсия	66,97	22,5	7,5	12 180 163,1	1345,1	69,46	20,82	18,57	2,56
Стандартное отклонение	8,18	4,74	2,74	3 490,01	36,67	8,33	4,56	4,31	1,6
Стандартная ошибка среднего	0,89	0,51	0,3	378,54	3,98	0,9	0,49	0,47	0,17
Коэффициент вариации	7,78	109	2,66	112,95	192,43	47,34	98,07	51,11	100,44
Минимум	91,2	-5,4	96,8	38	0	3,5	0	0,2	0
Максимум	164,4	16,3	114,2	18 419	233	41,2	23,8	21,2	8
Размах вариации	73,2	21,7	17,4	18 381	233	37,7	23,8	21	8
Меры формы распределения									
Асимметрия	4,64	0,59	0,86	2,06	3,79	0,63	1,46	0,38	1,66
Эксцесс	32,52	0,21	2,79	4,82	16,64	0,44	2,92	-0,2	3,28

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 2
Распределение регионов Российской Федерации по инновационным кластерам за 2019 г.

Table 2
Distribution of regions of the Russian Federation by innovation cluster, 2019

Показатель	Кластер				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Количество регионов, ед.	15	7	20	15	28
Количество регионов, %	17,6	8,2	23,5	17,6	32,9

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 3
Регионы Российской Федерации, сформировавшие кластеры инновационного развития в 2019 г.

Table 3
Regions of the Russian Federation that formed clusters of innovative development in 2019

Кластер	Состав кластеров
№ 1	Белгородская область; Владимирская область; Липецкая область; Тамбовская область; Тульская область; Ростовская область; Республика Мордовия; Республика Татарстан; Удмуртская Республика; Чувашская Республика; Кировская область; Нижегородская область; Самарская область; Ульяновская область; Хабаровский край
№ 2	Московская область; Москва; Санкт-Петербург; Краснодарский край; Пермский край; Свердловская область; Челябинская область
№ 3	Воронежская область; Калужская область; Рязанская область; Смоленская область; Тверская область; Ярославская область; Республика Карелия; Вологодская область; Калининградская область; Ленинградская область; Новгородская область; Астраханская область; Республика Башкортостан; Республика Марий Эл; Пензенская область; Тюменская область; Алтайский край; Новосибирская область; Томская область; Камчатский край
№ 4	Ивановская область; Костромская область; Республика Коми; Архангельская область; Волгоградская область; Республика Дагестан; Республика Ингушетия; Кабардино-Балкарская Республика; Карачаево-Черкесская Республика; Республика Северная Осетия – Алания; Саратовская область;

	Курганская область; Республика Хакасия; Забайкальский край; Еврейская автономная область
№ 5	Брянская область; Курская область; Орловская область; Ненецкий автономный округ; Мурманская область; Псковская область; Республика Адыгея (Адыгея); Республика Калмыкия; Республика Крым; Севастополь; Чеченская Республика; Ставропольский край; Оренбургская область; Ханты-Мансийский автономный округ – Югра; Ямало-Ненецкий автономный округ; Республика Алтай; Республика Тыва; Красноярский край; Иркутская область; Кемеровская область; Омская область; Республика Бурятия; Республика Саха (Якутия); Приморский край; Амурская область; Магаданская область; Сахалинская область; Чукотский автономный округ

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 4

Средние значения показателей, характеризующие инновационную экономику регионов Российской Федерации по кластерам, и общероссийские средние значения показателей за 2019 г.

Table 4

Average values of indicators characterizing the innovative economy of the regions of the Russian Federation by cluster, and all-Russian average values of indicators for 2019

Показатель	Кластер					Среднее значение по Российской Федерации
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	
X1, %	103,29	105,04	104,4	103,31	107,72	105,16
X2, %	2,01	10,41	7,53	0,13	4,08	4,35
X3, %	102,35	101,04	102,31	102,75	104,04	102,86
X4, ед.	4 616	11 684	2 560	1 341	1 439	3 090
X5, ед.	14	117	15	4	8	19
X6, %	19,21	17,1	19,15	27,48	10,48	17,6
X7, %	10,9	6,6	4,38	1,69	2,6	4,65
X8, %	13,44	10,17	10,5	4,72	5,82	8,43
X9, %	3,57	1,96	1,26	0,59	1,21	1,59

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 5

Влияние показателей на становление инновационных кластеров, %

Table 5

The impact of indicators on the formation of innovation clusters, percentage

Показатель	Кластер				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
X1	61,5	3	31,1	60,2	78,1
X2	93,5	99,8	99,3	99,9	21,6
X3	51	90,8	59,3	11,4	93,9
X4	89,1	100	48,7	93,8	98,3
X5	37,9	100	35,2	87,5	88,6
X6	51,2	12,6	56,4	100	100
X7	100	72,6	19,5	98,5	97,2
X8	100	69,9	95,8	99,8	99,7
X9	100	44,5	63,1	98,1	72,4

Источник: авторская разработка

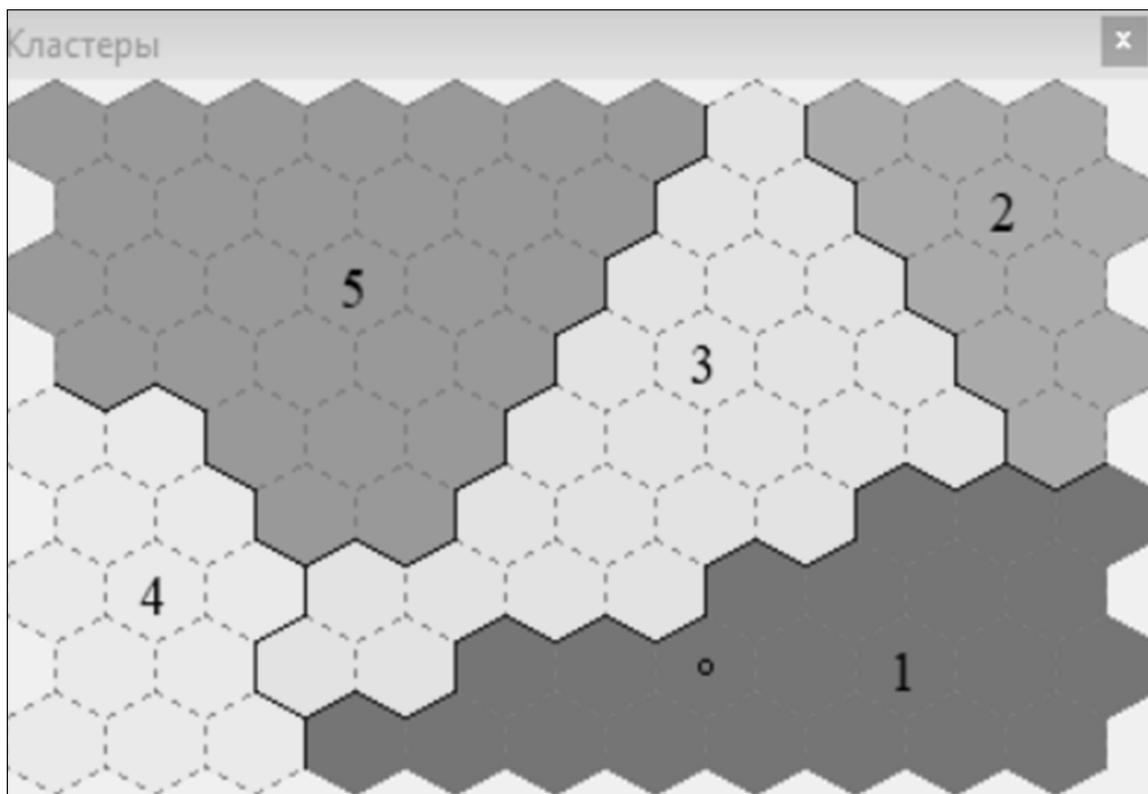
Source: Authoring

Рисунок 1

Самоорганизующаяся карта размещения регионов Российской Федерации по кластерам

Figure 1

Self-organizing map of the placement of regions of the Russian Federation by cluster



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. Макаров В.Л. Обзор математических моделей экономики с инновациями // Экономика и математические методы. 2009. Т. 45. № 1. С. 3–14.
URL: <https://emm.jes.su/s042473880000616-6-1-ru-276/>
2. Макаров В.Л., Айвазян С.А., Афанасьев М.Ю. и др. Моделирование развития экономики региона и эффективность пространства инноваций // Форсайт. 2016. Т. 10. № 3. С. 76–90. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-razvitiya-ekonomiki-regiona-i-effektivnost-prostranstva-innovatsiy>
3. Клейнер Г.Б., Мишуров С.С., Ерзнкян Б.А. и др. Инновационное развитие региона: потенциал, институты, механизмы: монография. Иваново: Ивановский государственный университет, 2011. 198 с.
4. Ленчук Е.Б. Роль «новой индустриализации» в формировании инновационной экономики России // Институциональная среда «новой индустриализации» экономики России / под ред. Е.Б. Ленчук. М.: Институт экономики РАН. 2014. С. 12–43.
5. Инновационное развитие: экономика, интеллектуальные ресурсы, управление знаниями / под ред. Б.З. Мильнера. М.: ИНФРА-М, 2013. 624 с.
6. Валентей С., Бахтизин А., Кольчугина А. Готовность региональных экономик к модернизации // Федерализм. 2018. № 2. С. 143–157.
URL: <https://federalizm.rea.ru/jour/article/view/70>
7. Силин Я.П., Анимица Е.Г., Новикова Н.В. Региональные аспекты новой индустриализации // Экономика региона. 2017. Т. 13. Вып. 3. С. 684–696.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/regionalnye-aspekty-novoy-industrializatsii>
8. Болдыревский П.Б., Кистанова Л.А. Оценка эффективности инновационной деятельности промышленных предприятий // Актуальные вопросы науки. 2014. № 12. С. 65–69.
9. Летягина Е.Л., Перова В.И., Подольская А.М. Исследование развития цифровой экономики России с использованием методов искусственного интеллекта // Развитие и безопасность. 2021. № 1. С. 83–94.
URL: <https://ds.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nomera/2021/01/083.pdf>
10. Летягина Е.Н., Перова В.И. Нейросетевое моделирование региональных инновационных экосистем // Journal of New Economy. 2021. Т. 22. № 1. С. 71–89.
URL: <http://jne.usue.ru/images/download/90/4.pdf>
11. Яшин С.Н., Борисов С.А. Методологические подходы к определению рейтинга экономико-инновационного развития промышленных предприятий региона //

- Вопросы инновационной экономики. 2020. Т. 10. № 2. С. 819–836.
URL: <https://1economic.ru/lib/100921>
12. Дюк В.А., Флегонтов А.В., Фомина И.К. Применение технологий интеллектуального анализа данных в естественнонаучных, технических и гуманитарных областях // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2011. № 138. С. 77–84.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-tehnologiy-intellektualnogo-analiza-dannyh-v-estestvennonauchnyh-tehnicheskikh-i-gumanitarnyh-oblastyah>
 13. Hinton G.E., Salakhutdinov R.R. Reducing the Dimensionality of Data with Neural Networks. *Science*, 2006, vol. 313, iss. 5786, pp. 504–507.
URL: <https://science.sciencemag.org/content/313/5786/504>
 14. Peng Lifang, Lai Lingling. A Service Innovation Evaluation Framework for Tourism E-Commerce in China Based on BP Neural Network. *Electronic Markets*, 2014, vol. 24, iss. 1, pp. 37–46. URL: <https://doi.org/10.1007/s12525-013-0148-0>
 15. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.
 16. Растунков В.С., Петров А.К., Панов В.А. Нейронные сети. *Statistica Neural Networks: Методология и технология современного анализа данных*. М.: Горячая линия – Телеком, 2008. 392 с.
 17. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2001. 630 с.
 18. Kohonen T. Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps. *BioLogical Cybernetics*, 1982, vol. 43, iss. 1, pp. 59–69.
URL: <https://doi.org/10.1007/BF00337288>
 19. Kaufman L., Rousseeuw P. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2005, 342 p.
 20. Викулов С.Ф., Хрусталёв Е.Ю. Экономические основы военной безопасности России // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2014. № 7. С. 2–9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskie-osnovy-voennoy-bezopasnosti-rossii>
 21. Бухвальд Е.М. Институты развития и национальная безопасность Российской Федерации // Развитие и безопасность. 2021. № 1. С. 16–28.
URL: <https://ds.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nomera/2021/01/016.pdf>
 22. Сенчагов В.К., Иванов Е.А. Структура механизма современного мониторинга экономической безопасности России. М.: Институт экономики РАН, 2016. 71 с.

23. Любушин Н.П., Бабичева Н.Э., Лылов А.И., Пуляхин Е.И. Экономический анализ влияния «больших вызовов» на устойчивость и непрерывность деятельности субъектов хозяйствования // *Экономический анализ: теория и практика*. 2020. Т. 19. Вып. 12. С. 2253–2275. URL: <https://doi.org/10.24891/ea.19.12.2253>

Информация о конфликте интересов

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

STUDYING THE INNOVATIVE DEVELOPMENT OF REGIONAL ECONOMY AS AN IMPERATIVE OF SUSTAINABLE SOCIO-ECONOMIC GROWTH IN RUSSIA, USING NEURAL NETWORK MODELING

Nikolai P. LYUBUSHIN ^{a,*},

Elena N. LETYAGINA ^b,

Valentina I. PEROVA ^c

^a Voronezh State University (VSU),
Voronezh, Russian Federation
lubushinnp@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4493-2278>

^b National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (UNN),
Nizhny Novgorod, Russian Federation
len@fks.unn.ru
ORCID: not available

^c National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (UNN),
Nizhny Novgorod, Russian Federation
perova_vi@mail.ru
ORCID: not available

* Corresponding author

Article history:

Article No. 412/2021
Received 19 July 2021
Received in revised form
25 July 2021
Accepted 4 August 2021
Available online
30 August 2021

JEL classification: C45,
O30, R11

Keywords: innovation
activity, cluster analysis,
neural network, Kohonen
self-organizing map

Abstract

Subject. The article deals with the innovative potential of Russian regions in light of the national goal of the Russian Federation development, reflecting decent and productive work.

Objectives. The purpose is to study the innovation activity in Russian regions, using neural networks, to ensure breakthrough innovative development of the Russian economy.

Methods. We employ a cluster analysis on the basis of neural network modeling, using information technologies. For the research, we selected neural networks (Kohonen self-organizing maps), which are focused on unsupervised learning and are a promising tool for clustering and visualization of multidimensional statistical data.

Results. The result of neural network modeling was the ranking of 85 regions of the Russian Federation into 5 compact groups (clusters) regardless of their affiliation to federal districts of the Russian Federation. The study shows that there is a strong differentiation of the number of regions in these clusters. We obtained average values of indicators in the clusters and compared them with all-Russian indicators.

Conclusions. Breakthrough in the socio-economic growth of the Russian Federation is associated with a set of measures that involve stimulating innovation activities in regions, which are characterized by different level of innovation development. Such measures will increase the interest of the real sector of the economy in using scientific development, advanced production technologies, higher-productivity employment opportunities, and, as a result, will encourage socio-economic growth and people's quality of life.

Please cite this article as: Lyubushin N.P., Letyagina E.N., Perova V.I. Studying the Innovative Development of Regional Economy as an Imperative of Sustainable Socio-Economic Growth in Russia, Using Neural Network Modeling. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2021, vol. 20, iss. 8, pp. 1394–1414.
<https://doi.org/10.24891/ea.20.8.1394>

References

1. Makarov V.L. [Overview of mathematical models of economy with innovation]. *Ekonomika i matematicheskie metody = Economics and Mathematical Methods*, 2009, vol. 45, no. 1, pp. 3–14. URL: <https://emm.jes.su/s042473880000616-6-1-ru-276/> (In Russ.)
2. Makarov V.L., Aivazyan S.A., Afanas'ev M. Yu. et al. [Modeling the Development of Regional Economy and an Innovation Space Efficiency]. *Forsait = Foresight and STI Governance*, 2016, vol. 10, no. 3, pp. 76–90.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-razvitiya-ekonomiki-regiona-i-effektivnost-prostranstva-innovatsiy> (In Russ.)
3. Kleiner G.B., Mishurov S.S., Erznkyan B.A. et al. *Innovatsionnoe razvitie regiona: potentsial, instituty, mekhanizmy: monografiya* [Innovative development of the region: Potential, institutions, mechanisms: a monograph]. Ivanovo, Ivanovo State University Publ., 2011, 198 p.
4. Lenchuk E.B. *Rol' 'novoi industrializatsii' v formirovanii innovatsionnoi ekonomiki Rossii. V kn.: Institutsional'naya sreda 'novoi industrializatsii' ekonomiki Rossii* [The role of "new industrialization" in the formation of innovative economy of Russia. In: The institutional environment of the "new industrialization" of the Russian economy]. Ed. by E.B. Lenchuk. Moscow, IE RAS Publ., 2014, pp. 12–43.
5. *Innovatsionnoe razvitie: ekonomika, intellektual'nye resursy, upravlenie znaniyami* [Innovative development: Economics, intellectual resources, knowledge management]. Moscow, INFRA-M Publ., 2013, 624 p.
6. Valentei S., Bakhtizin A., Kol'chugina A. [The readiness of regional economies for modernization]. *Federalizm = Federalism*, 2018, no. 2, pp. 143–157.
URL: <https://federalizm.rea.ru/jour/article/view/70> (In Russ.)
7. Silin Ya.P., Animitsa E.G., Novikova N.V. [Regional aspects of new industrialization]. *Ekonomika regiona = Economy of Region*, 2017, vol. 13, iss. 3, pp. 684–696.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/regionalnye-aspekty-novoy-industrializatsii> (In Russ.)
8. Boldyrevskii P.B., Kistanova L.A. [Evaluation of innovation activity of industrial enterprises]. *Aktual'nye voprosy nauki*, 2014, no. 12, pp. 65–69. (In Russ.)

9. Letyagina E.L., Perova V.I., Podol'skaya A.M. [The research of the development of the digital economy of Russia using artificial intelligence methods]. *Razvitie i bezopasnost' = Development and Security*, 2021, no. 1, pp. 83–94.
URL: <https://ds.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/nomera/2021/01/083.pdf> (In Russ.)
10. Letyagina E.N., Perova V.I. [Neural network modelling of regional innovation ecosystems]. *Journal of New Economy*, 2021, vol. 22, no. 1, pp. 71–89.
URL: <http://jne.usue.ru/images/download/90/4.pdf> (In Russ.)
11. Yashin S.N., Borisov S.A. [Methodological approaches to the determination of the rating of economic and innovative development of industrial enterprises in the region]. *Voprosy innovatsionnoi ekonomiki = Russian Journal of Innovation Economics*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 819–836. URL: <https://1economic.ru/lib/100921> (In Russ.)
12. Dyuk V.A., Flegontov A.V., Fomina I.K. [Application of data mining technologies in the scientific, technical and humanitarian areas]. *Izvestiya Rossiiskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gertsena = Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Sciences*, 2011, no. 138, pp. 77–84.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-tehnologiy-intellektualnogo-analiza-dannyh-v-estestvennonauchnyh-tehnicheskikh-i-gumanitarnyh-oblastyah> (In Russ.)
13. Hinton G.E., Salakhutdinov R.R. Reducing the Dimensionality of Data with Neural Networks. *Science*, 2006, vol. 313, iss. 5786, pp. 504–507.
URL: <https://science.sciencemag.org/content/313/5786/504>
14. Peng Lifang, Lai Lingling. A Service Innovation Evaluation Framework for Tourism E-Commerce in China Based on BP Neural Network. *Electronic Markets*, 2014, vol. 24, iss. 1, pp. 37–46. URL: <https://doi.org/10.1007/s12525-013-0148-0>
15. Haykin S. *Neironnye seti: polnyi kurs* [Neural Networks]. Moscow, Vil'yams Publ., 2006, 1104 p.
16. Rastunkov V.S., Petrov A.K., Panov V.A. *Neironnye seti. Statistika Neural Networks: Metodologiya i tekhnologiya sovremennogo analiza dannykh* [Neural networks. Statistical neural networks: Methods and technology of modern data analysis]. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2008, 392 p.
17. Medvedev V.S., Potemkin V.G. *Neironnye seti. MATLAB 6* [Neural networks. MATLAB 6]. Moscow, DIALOG-MIFI Publ., 2001, 630 p.
18. Kohonen T. Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps. *Biological Cybernetics*, 1982, vol. 43, iss. 1, pp. 59–69.
URL: <https://doi.org/10.1007/BF00337288>
19. Kaufman L., Rousseeuw P. *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2005, 342 p.

20. Vikulov S.F., Khrustalev E.Yu. [Economic bases of Russia's military security]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*, 2014, no. 7, pp. 2–9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskies-osnovy-voennoy-bezopasnosti-rossii> (In Russ.)
21. Bukhval'd E.M. [Institutes of development and the national security of the Russian Federation]. *Razvitie i bezopasnost' = Development and Security*, 2021, no. 1, pp. 16–28. URL: <https://ds.ntnu.ru/frontend/web/ngtu/files/nomera/2021/01/016.pdf> (In Russ.)
22. Senchagov V.K., Ivanov E.A. *Struktura mekhanizma sovremennogo monitoringa ekonomicheskoi bezopasnosti Rossii* [The structure of the mechanism of modern monitoring of Russia's economic security]. Moscow, IE RAS Publ., 2016, 71 p.
23. Lyubushin N.P., Babicheva N.E., Lylov A.I, Pulyakhin E.I. [An economic analysis of the impact of "grand challenges" on sustainability and business continuity of economic entities]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2020, vol. 19, iss. 12, pp. 2253–2275. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.24891/ea.19.12.2253>

Conflict-of-interest notification

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