

Научная статья
Original article

Применение искусственных нейронных сетей для оценки инвестиционной привлекательности регионов

Александров Е. Е.

Таганрогский институт управления и экономики, Таганрог, Россия

Автор-корреспондент: ee_alexandrov@mail.ru

Аннотация: Неравномерность экономического развития российских регионов, с одной стороны, обостряет потребность, а с другой стороны, осложняет поиск объективных способов оценки их инвестиционной привлекательности. Анализ недостатков методик исследования инвестиционного климата регионов, используемых в настоящий период времени, приводит авторов статьи к разработке оценочного инструментария на основе нейросетевой технологии и факторного анализа. Использование искусственного интеллекта и машинного обучения позволит органам регионального управления эффективно и в сжатые сроки решать задачи оценки инвестиционной привлекательности регионов и на этой основе разрабатывать программы ее повышения.

Ключевые слова: Региональная экономика, инвестиционная привлекательность региона, искусственный интеллект, искусственные нейронные сети, методика оценки инвестиционной привлекательности региона.

Для цитирования: Александров Е. Е. Применение искусственных нейронных сетей для оценки инвестиционной привлекательности регионов. Умная цифровая экономика. 2023. Т.3, №2, с. 6-14

Applying Artificial Neural Networks to Assessing the Investment Attractiveness of Regions

Aleksandrov E. E.

Taganrog Institute of Management and Economics, Taganrog, Russia

Corresponding author: ee_alexandrov@mail.ru

Abstract: The uneven economic development of Russian regions, on the one hand, exacerbates the need, and on the other hand, complicates the search for objective ways to assess their investment attractiveness. An analysis of the shortcomings of the methods for studying the investment climate of the regions that are currently used leads the authors of the article to develop assessment tools based on neural network technology and factor analysis. The use of artificial intelligence and machine learning will allow regional governments to effectively and quickly solve the problems of assessing the investment attractiveness of regions and, on this basis, develop programs to improve it.

Keywords: Regional economy, investment attractiveness of the region, artificial intelligence, artificial neural networks, methodology for assessing the investment attractiveness of the region.

For citation: Aleksandrov E.E. Applying Artificial Neural Networks to Assessing the Investment Attractiveness of Regions. Smart Digital Economy. 2023. Vol .3 №2, pp. 6-14



В ряде вышедших в последние годы научных работ отмечается рост тенденции к усилению влияния внешне и внутривластных конъюктур на экономическое положение и развитие стран и регионов [1, 15, 6, 23, 12]. Например, в современном миропорядке экономические санкции активно используются правительствами стран и политических союзов как экономические средства давления в целях достижения определенных политических интересов. Даже оценки экономического положения стран и регионов авторитетными международными рейтинговыми агентствами далеко не всегда и не в полной мере опосредуются сугубо экономическими критериями, обнаруживают элементы политической ангажированности, но при этом оказывают решающее влияние на принятие экономическими субъектами решений об инвестировании или, наоборот, о выведении капиталов из страны или региона. В этих условиях, дабы избежать критических ошибок в разработке стратегии и тактик экономического управления, необходимо обеспечить объективный характер экономических оценок, в том числе и оценок инвестиционной привлекательности. Не только внешние, но и внутренние потенциальные инвесторы должны получить доступ к необходимой им информации для того, чтобы убедиться в экономической целесообразности инвестиционной активности, определяющейся совокупностью объемов и темпов привлечения инвестиций [1].

В центре нашего внимания находится экономическая жизнь регионов. Одним из наиболее важных этапов в побуждении инвесторов к инвестиционной активности является создание благоприятного инвестиционного климата, то есть условий, способствующих привлечению инвестиций в экономику региона. Ряд авторов обоснованно, на наш взгляд, считают, что слагаемыми инвестиционного климата являются: а) инвестиционная привлекательность, включающая в себя *инвестиционные потенциалы* в виде условий, стимулирующих или препятствующих вложению в регион экономических средств и тем самым повышающих или сдерживающих заинтересованность инвесторов, и *инвестиционные риски*, то есть факторы, игнорирование или недооценка которых создает угрозы полной или частичной потери вложенных средств или снижения их рентабельности; б) *инвестиционная активность*, то есть динамическая характеристика инвестиционной деятельности [1].

На текущий момент в состав Российской Федерации входит более 80 субъектов, каждый из которых в силу особенностей природных условий, исторического развития, социокультурных процессов и проводимой системами управления экономической политики обладают региональной спецификой и существенно различаются в уровне инвестиционной привлекательности. Этот феномен ряд ученых обозначают как «региональную неоднородность инвестиционного пространства» [1, 5, 11, 4], которое и провоцирует переток внутренних и внешних инвестиций в регионы, обладающие более высоким инвестиционным потенциалом при низком уровне инвестиционных рисков. Очевидно, что оптимизация инвестиционного климата региона связана с эффективным управлением факторами инвестиционной привлекательности на основе объективной оценки их текущего состояния и перспектив развития в некоторый период времени.

Одним из общепринятых показателей концентрированности инвестиций является индекс Херфиндаля-Хиршмана (ННН), определяющийся применительно к экономике российских регионов по следующей формуле:

$$HHI = \sum_{j=1}^k \left(\frac{i_j}{I} \times 100 \right)^2 \quad (1)$$

где:

k – количество учитываемых в оценке субъектов (регионов);

i_j – объем инвестиций в j -м регионе;

I – общий объем инвестиций во все субъекты (регионы).

Данные Федеральной службы государственной статистики о динамике распределения инвестиций в основном капитале Российской Федерации, свидетельствуют, что после распада СССР, предпринимавшего определенные шаги к сглаживанию неравномерности экономического развития регионов за счет централизованного перераспределения финансов и других мер экономического управления (но не сумевшего эти цели реализовать на практике), концентрация инвестиций существенно возросла [14]. Между регионами-лидерами (например, Московской и Ленинградской областями) и регионами-аутсайдерами (в частности, Новгородской областью и Ставропольским краем) возник своеобразный экономический «провал», который не только отрицательно влияет на стабильность важнейших социальных институций, но и государства в целом [1, 12, 11, 4]. Таким образом, становится очевидна необходимость в государственной программе, направленной на достижение определенного баланса в экономическом развитии регионов. Реализация этой задачи сопряжена с формированием инвестиционно-привлекательного климата через актуализацию значимых для инвесторов инвестиционных потенциалов при минимизации инвестиционных рисков. Это, в свою очередь, востребует разработки факторов, показателей и инструментария объективной оценки инвестиционной привлекательности региона и определения наиболее эффективных мер региональной политики, учитывающих региональную специфику.

Используемые в настоящее время подходы к оценке инвестиционной привлекательности регионов условно можно разделить на несколько групп, а именно: упрощенные, факторные, рисковые [1]. Дадим им краткую характеристику.

Методики упрощенного подхода объединяет выдвижение некоторого доминирующего показателя, аккумулирующего в себе ряд экономических параметров, позволяющих однозначно, по мнению авторов этого способа оценки, судить об инвестиционной привлекательности регионов. Использование в оценке этого подхода не требует высоких трудозатрат и позволяет инвестору составить комплексное представление о целесообразности вложений (потенциально возможном доходе и предполагаемых сроках его получения). Обычно, в качестве доминирующего применяется показатель эффективности использования активов. Однако достоинства подхода плавно перерастают в недостатки: инвестор не получает информации о других важных экономических параметрах региона, характеризующих, например, состояние его производственных фондов, трудовых ресурсов, экологии и возникающие в связи с этим инвестиционные риски.

Факторный подход значительно сложнее, так как опирается на анализ совокупности факторов, предложенных компетентными экспертами или найденных с помощью статистических вычислений. Факторы объединяются в укрупненные группы, каждая из которых позволяет оценить отдельные критерии инвестиционной привлекательности региона [7].

Рисковый подход к оценке инвестиционной привлекательности региона исследует особенности отношения между инвестиционным потенциалом и инвестиционными рисками. При этом разработчики этих методик исходят из постулата, что возможные отношения между указанными переменными образуют своеобразные «качели»: повышение рисков неизбежно приводит к понижению инвестиционных потенциалов и, наоборот, снижение рисков – к повышению инвестиционных потенциалов [13].

В последнее двадцатилетие российскими экономистами были разработаны методики оценки инвестиционной привлекательности, объединяющие в себе достоинства факторных и рискованных подходов. В частности, сошлемся на методики Г.А. Батищевой [2] и «АВС-матрицу» Г.А. Александрова, И.В. Вякиной и Г.Г. Скворцовой [1]. Они позволяют повысить объективность и научную достоверность оценок.

Сам факт наличия большого количества различающихся по подходам разработок красноречиво говорит о том, что: а) с одной стороны, методики оценки инвестиционной привлекательности региона являются востребованным инструментом как со стороны потенциальных инвесторов, так и со стороны структур социального управления, заинтересованных в привлечении дополнительных финансовых средств в экономику региона; б) создание методики, удовлетворяющей потребностям всех заинтересованных экономических субъектов, представляет собой трудноразрешимую задачу; в) в существующих методиках присутствуют серьезные недостатки, негативно влияющие на итоговую оценку. К числу наиболее существенных недостатков, на наш взгляд, можно отнести то, что:

– большинство авторов в процессе определения факторов и показателей оценки инвестиционной привлекательности, а также коэффициентов значимости (или, говоря иначе, весовых коэффициентов) различных факторов в соответствии со степенью их влияния на конечный результат, используют метод экспертных оценок. Очевидно, что при этом сложно добиться хотя бы относительной гомогенности группы экспертов, так как обычно они представляют различающиеся по методологическим установкам научные экономические школы, имеют разный опыт теоретический и практический, а также занимают разные профессионально-статусные позиции. В этом обстоятельстве можно усмотреть и позитивные моменты, так как конкретный эксперт сквозь призму своего профессионального опыта может предложить учет в итоговой оценке значимых (весомых) факторов, по тем или иным причинам не используемых другими субъектами экономической оценки. Но в целом труднопреодолимая неоднородность экспертной группы существенно сказывается на уровне объективности оценок [1, 7];

– концентрация экономической информации, компетентных специалистов, исследовательского инструментария «в руках» стремящихся к монополии крупных рейтинговых агентств открывает шлюзы для различных манипуляций с данными в целях продвижения интересов отдельных экономических субъектов на фоне создания иллюзии объективности выносимых оценок [16,20,22,18,19,21,17,10,8,9];

– в некоторых методиках используется, так называемый, «котловой» способ составления списков учитываемых факторов, когда в них вносятся все или большинство известных статистических данных без их весового ранжирования в итоговой оценке. А.Н. Колышкин для преодоления недостатков «котлового» подхода предложил использовать метод контент-анализа, когда в весовом ранжировании факторов оценки используются данные о частотности их упоминания в научных публикациях и методической литературе [10]. С нашей

точки зрения, предложение А.Н. Колышкина представляет определенный интерес, но вряд ли способно гарантировать объективность оценок.

Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что существующие в настоящее время способы и инструментарий оценки инвестиционного климата регионов несвободны от недостатков и не могут выступать в качестве универсального оценочного средства при разработке программ экономического развития регионов. Мы считаем, что сегодня уже сложились технологические предпосылки для создания принципиально новых инструментов оценки, способных не только эффективно обрабатывать экономическую информацию, но и вскрывать корреляционные и факторные связи между различными переменными, определять «весовую» значимость фактора в системе и даже автоматически представлять результат оценки инвестиционной привлекательности региона в наглядной форме, доступной для понимания не только профильных специалистов, но и потенциальных инвесторов.

Так, одним из наиболее эффективных, по мнению автора, способов решения рассматриваемой проблемы является разработка методики оценки инвестиционной привлекательности регионов на базе искусственной нейронной сети. Использование искусственного интеллекта в анализе инвестиционного климата региона позволяет преодолеть перечисленные выше недостатки и открывает возможности, которые ранее были недоступны, а именно нейросетевая технология:

1) использует заранее собранную и подготовленную базу данных с применением автоматически сформированной на этапе обучения матрицы синаптических весов (то есть коэффициентов значимости), что обеспечивает максимально высокую приспособляемость модели к ситуации конкретного региона;

2) на этапах обучения и непосредственно оценки восстанавливает скрытые зависимости между переменными и может вводить новые «промежуточные» факторы, которые вначале не учитывались, и, наоборот, устранять малозначащие факторы, а также устанавливает точную калибровку (ранжирование) весовых коэффициентов для каждого участвующего в оценке фактора или, другими словами, обнаруживает высокого уровня адаптивную способность к условиям неопределенности;

3) проявляет высокой степени устойчивость к изменениям факторов и параметров, которые обладают побочным или вовсе нулевым влиянием на конечный результат оценки;

4) зарекомендовала себя как надежный и объективный инструмент решения задач в смежных областях экономического анализа, например, диагностика и прогнозирование банкротств корпораций [8,9], кредитный скоринг [3] и др.

Анализ научных трудов, посвященных разработке методик оценки инвестиционного климата регионов, показывает, что лишь небольшое количество авторов уделяет должное внимание научному обоснованию используемых факторов и показателей [9]. Часть разработок реализуют, так называемый, эвристический подход в выборе факторов, то есть опираются преимущественно на имеющихся у авторов опыт и интуицию. Другая часть, ставя задачу повысить уровень объективности оценок, использует корреляционный и факторный анализ, которые, безусловно, оказывают позитивное влияние на достоверность оценок, но, вместе с тем, мало что добавляют к пониманию весовых распределений между факторами. Вот почему мы предлагаем применять искусственные нейронные сети на этапе первоначальной обработки данных и разработки итоговой структуры нейросетевой модели, предназначенной для оценки инвестиционной привлекательности региона.

Алгоритмы предварительной обработки данных будут иметь следующий вид:

1) формируется и нормализуется база данных на основе статистической информации и экспертных оценок. После процедуры нормализации значения факторов принимают безразмерную форму:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_{xj}}; \quad (2)$$

$$S_{xj} = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{N - 1} \right]^{1/2} \quad (3)$$

где:

\tilde{x}_{ij} – нормированное значение j -го фактора в i -ом опыте;

x_{ij} – исходное значение фактора;

\bar{x}_j – среднее значение j -го фактора;

S_{xj} – среднее квадратическое отклонение значения j -го фактора;

N – количество кейсов в выборке.

2) выполняется построение байесовского ансамбля искусственных нейронных сетей для предобработки данных, каждая из которых обладает отличающимися от других структурными особенностями (например, функции активации, количество слоев и т. д.), но при этом имеют единый архитектурный тип (наиболее предпочтительным для данного типа моделей является многослойный персептрон с обучением методом обратного распространения ошибки), то есть:

$$\forall h_q \in H, q = \overline{1, Q} \quad (4)$$

где:

h_q – нейросетевая модель, входящая в ансамбль;

H – множество нейронных сетей одного архитектурного типа.

3) критерием отбора факторов для искусственной нейронной сети является параметр Θ , выраженный через соотношения ошибок первого и второго рода по отношению к общему количеству участвующих в выборке кейсов. Процесс отбора реализуется в два этапа – внешний и внутренний. Внутренний этап выполняется в рамках искусственных нейронных сетей предобработки, а внешний – на межмодельном уровне. Алгоритм выполняется до тех пор, пока каждый из анализируемых элементов (в случайном порядке) не пройдет два этапа. Критерий отбора факторов можно описать следующим образом:

$$\Theta_{qj} = \left(\frac{N^{(I)}}{N} \right) + \left(\frac{N^{(II)}}{N} \right); \quad (5)$$

$$\bar{\Theta}_{qj} = \frac{\left[\sum_{q=1}^{Q^*} \Theta_{qj} \right]}{N}; j = \overline{1, n} \quad (6)$$

где:

N – количество кейсов в выборке;

$N^{(1)}, N^{(2)}$ – количество ошибок первого и второго рода соответственно;

Q^* – количество искусственных нейронных сетей в байесовском ансамбле для предобработки данных.

4) фактор продолжает находиться в составе выборки и участвовать в процедуре отбора в случае его соответствия условию:

$$x_i^*: \overline{\Theta}_j \leq \eta_1 | \Theta_{jq} \leq \eta_2 \quad (7)$$

где:

* – обозначает возврат фактора в выборку при удовлетворении условия;

η_1 и η_2 – принятые значения критерия отбора, при пересечении которых фактор не удовлетворяет условию и исключается из выборки.

5) резюмируя предыдущие положения, сформулируем обобщенную математическую запись для набора факторов, прошедших процесс отбора:

$$x_{opt} = arg[\min_{v=\overline{1,n}}(\overline{\Theta}_v) | h_q \in H]$$

где:

x_{opt} – набор факторов с порядковым номером v .

Таким образом, x_{opt} является результатом предобработки и может использоваться в качестве обоснования оптимального количества факторов для формирования базы данных и определения структуры нейросетевой модели оценки инвестиционного климата региона [8, 9].

Резюмируем: высокую степень неравномерности экономического развития регионов РФ многие экономисты оценивают как одну из наиболее сложных проблем, провоцирующих социальную напряженность и дестабилизацию общества и институтов государства. Научно обоснованное управление инвестиционным климатом региона способно смягчить неравномерность экономического развития регионов за счет разработки государственных и региональных программ повышения их инвестиционной привлекательности. Однако для этого необходимы инструменты оценки инвестиционной привлекательности, в полной мере отвечающие предъявляемым к ним требованиям по критериям объективности и полноты оценок и прогнозов. По мнению автора, наиболее перспективным здесь является использование искусственного интеллекта, в частности – нейросетевых технологий. Современные научные данные в области программирования нейронных сетей достаточны для их профессионального использования как инструментов экономического анализа. Получаемые благодаря им оценки инвестиционной привлекательности региона могут быть полезными как для профильных специалистов регионального управления, разрабатывающих стратегию привлечения инвестиционных потоков, так и для инвесторов, находящихся в стадии поиска объекта наиболее эффективного вложения своих финансовых и материальных средств.

Список литературы

1. Александров Г. А. Формирование инвестиционно привлекательного климата региона: концепция, диагностика, инновации / Г. А. Александров, И. В. Вякина, Г. Г. Скворцова. – Москва : Издательство "Экономика", 2014. – 302 с. – ISBN 978-5-282-03362-5. – EDN TEZILG.
2. Батищева Г.А. Совершенствование методологии оценивания инвестиционной привлекательности регионов // Российское предпринимательство. 2009. №6-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-metodologii-otsenivaniya-investitsionnoy-privlekatelnosti-regionov> (дата обращения: 23.02.2023).
3. Богданов А.Л., Дуля И.С. Применение нейронных сетей в решении задачи кредитного скоринга // Вестн. Том. гос. ун-та. Экономика. 2018. №44. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-neyronnyh-setey-v-reshenii-zadachi-kreditnogo-skoringa> (дата обращения: 24.02.2023).
4. Васильева Н.К., Тахумова О.В., Высоченко А.А., Шестак О.С. Анализ инвестиционной привлекательности региона // ЕГИ. 2021. №2 (34). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-investitsionnoy-privlekatelnosti-regiona-1> (дата обращения: 23.02.2023).
5. Валиуллин Х.Х., Шакирова Э.Р. Неоднородность инвестиционного пространства России: региональный аспект // Проблемы прогнозирования. 2004. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neodnorodnost-investitsionnogo-prostranstva-rossii-regionalnyy-aspekt> (дата обращения: 23.02.2023).
6. Гармонизация механизмов стратегического развития национальной инновационной системы / И. К. Шевченко, Ю. В. Развадовская, А. А. Марченко, А. В. Ханина // Terra Economicus. – 2017. – Т. 15, № 1. – С. 103-129. – DOI 10.18522/2073-6606-2017-15-1-103-129. – EDN YHNAUV.
7. Гришина И.В., Шахназаров А.Г., Ройзман И.И. Комплексная оценка инвестиционной привлекательности и инвестиционной активности российских регионов: методика определения и анализ взаимосвязей // Инвестиции в России. 2001. – № 4 (75). – Электронная версия печатной публикации. – URL: <http://www.ivrv.ru/2001/rus/p0104/p010402.htm> (дата обращения: 06.01.2023). – Доступ свободный.
8. Горбатков С.А. Динамические нейросетевые модели банкротств корпораций при неполных данных: Монография / С. А. Горбатков, С. А. Фархиева ; под ред. С. А. Горбаткова. – Москва: Прометей, 2020. – 210 с. – ISBN 978-5-907244-86-3. – Текст : непосредственный
9. Горбатков С.А. Нейросетевые и нечеткие методы моделирования диагностики и прогнозирования банкротств корпораций: Монография / С. А. Горбатков, С. А. Фархиева, И. И. Белолипец / Под. ред. проф. С. А. Горбаткова. – Москва : Прометей, 2018. – 371 с. – ISBN 978-5-907003-09-5. – Текст : непосредственный
10. Кольшкин А.Н. Новые подходы к оценке вероятности банкротства / А. Н. Кольшкин // Приложение к газете «Деловой Петербург» (серия «Бизнес без проблем»). – 2003. – №3. – 5 с. URL: <http://science.ncstu.ru/articles/econom/5/19.pdf> (дата обращения: 03.01.2022).

11. Кузнецов В.И., Владимиров Н.А., Сычева М.А. О дифференциации регионов Российской Федерации по уровню инвестиционной привлекательности // Статистика и экономика. 2019. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-differentsiatsii-regionov-rossiyskoj-federatsii-po-urovnyu-investitsionnoy-privlekatelnosti> (дата обращения: 23.02.2023).
12. Никонова Я. Переход к инновационному типу воспроизводства: обоснование необходимости // КЭ. 2009. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perehod-k-innovatsionnomu-tipu-voisproizvodstva-obosnovanie-neobhodimosti> (дата обращения: 23.02.2023).
13. Тихомирова И. В. Инвестиционный климат в России: региональные риски / Федер. фонд поддержки малого предпринимательства. М. : Издатцентр, 1997. 312 с.
14. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 23.02.2023).
15. Bessonova E., Battalov R. Innovative development of the Russian economy: formation of support mechanism based on the world's experience. *Economic Annals-XXI*. 2019. doi: <https://doi.org/10.21003/ea.V180-11>
16. How to Profit from European Threats Against Rating Agencies. – 08.07.2011. – Текст: электронный // Forbes.com: [сайт]. – URL: <https://www.forbes.com/sites/benzingainsights/2011/07/08/how-to-profit-from-european-threats-against-rating-agencies/?sh=28b657f63f99> (дата обращения 25.01.2023). – Доступ свободный.
17. How Moody's sold its ratings – and sold out investors. – 18.10.2009. – Текст: электронный // McClatchy: [сайт]. – URL: <https://www.mcclatchydc.com/news/politics-government/article24559855.html> (дата обращения 25.01.2023). – Доступ свободный.
18. Jefferson County School District No. R-1 v. Moody's Investor's Services, Inc. – Текст : электронный // JUSTIA. – 1997. – URL: <https://law.justia.com/cases/federal/district-courts/FSupp/988/1341/1455700/> (дата обращения 25.01.2023).
19. Yasuyuki, Fuchita; Robert E. Litan. *Financial Gatekeepers: Can They Protect Investors?*. – Washington, D.C.: Brookings Institution Press. 2006. – 214 p.
20. Timothy J. Sinclair. *The New Masters of Capital: American Bond Rating Agencies and the Politics of Creditworthiness*. – Ithaca: Cornell University Press. 2005. – 202 p.
21. Watching the Watchers: Justice Department Launches Probe of Moody's Ratings. – 28.03.1996. – Текст: электронный // Tulsa World: [сайт]. – URL: https://tulsa-world.com/archive/watching-the-watchers-justice-department-launches-probe-of-moodys-ratings/article_71667dc7-86d9-5e43-b9d6-2bff2602ef8a.html (дата обращения 25.01.2023). – Доступ свободный.
22. Don't blame Moody's for a messy euro crisis. – 12.07.2011. – Текст: электронный // Financial Times: [сайт]. – URL: <https://www.europeansources.info/record/dont-blame-moodys-for-a-messy-euro-crisis/> (дата обращения 25.01.2023). – Доступ свободный.
23. Freeman, C., and Soete, L. 1997. *The Economics of Industrial Innovation*. Pinter, London.

