

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И МЕТОДОЛОГИИ

DOI: 10.15838/esc.2024.3.93.6

УДК 332.14, ББК 65.04

© Бывшев В.И., Королева С.А., Пантелеева И.А., Писарев И.В.

Прогнозирование показателей научно-технологического и инновационного развития региона при помощи рекуррентных нейронных сетей



Владимир Игоревич БЫВШЕВ

Сибирский федеральный университет
Красноярск, Российская Федерация
e-mail: vbyvshev@sfu-kras.ru
ORCID: 0000-0001-5903-1379; ResearcherID: AAQ-2532-2020



Светлана Александровна КОРОЛЕВА

Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности
Красноярск, Российская Федерация
e-mail: svetlanaevseewa@mail.ru
ORCID: 0009-0001-4575-2156; ResearcherID: KGL-6458-2024



Ирина Анатольевна ПАНТЕЛЕЕВА

Сибирский федеральный университет
Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности
Красноярск, Российская Федерация
e-mail: panteleevaia@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3292-0728; ResearcherID: AAQ-2585-2020



Иван Владимирович ПИСАРЕВ

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева
Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности
Красноярск, Российская Федерация
e-mail: ivanpisarev24@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-0419-0388; ResearcherID: JYQ-5244-2024

Для цитирования: Бывшев В.И., Королева С.А., Пантелеева И.А., Писарев И.В. (2024). Прогнозирование показателей научно-технологического и инновационного развития региона при помощи рекуррентных нейронных сетей // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. Т. 17. № 3. С. 102–117. DOI: 10.15838/esc.2024.3.93.6

For citation: Byvshev V.I., Koroleva S.A., Panteleeva I.A., Pisarev I.V. (2024). Forecasting indicators of scientific, technological and innovative development of the region using recurrent neural networks. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 17(3), 102–117. DOI: 10.15838/esc.2024.3.93.6

Аннотация. В статье осуществляется прогнозирование показателей научно-технологического и инновационного развития субъекта Российской Федерации и региональных институтов инновационного развития при помощи рекуррентных нейронных сетей. Прогнозирование при помощи нейронных сетей получило широкое распространение и является актуальным, качественным и достоверным способом осуществления экономических прогнозов, может применяться в рамках осуществления социально-экономического анализа, в том числе анализа территорий. Однако при изучении литературы не удалось найти работ, в которых прогнозирование научно-технологического и инновационного развития регионов проводилось методом нейронных сетей, что определяет научную новизну исследования. Актуальность исследования обусловлена повышением внимания со стороны региональных властей к научно-технологическому и инновационному развитию территорий и необходимостью формирования государственных программ субъектов Российской Федерации в сфере научно-технологического развития, которое возникло вследствие осуществления попыток структурных сдвигов в экономике страны. Гипотеза исследования состоит в том, что прогнозирование показателей научно-технологического и инновационного развития региона и деятельности региональных институтов инновационного развития при помощи рекуррентных нейронных сетей даст более точные результаты, чем при использовании метода линейной регрессии, модели скользящего среднего или метода Хольта – Винтерса. В рамках статьи сформирована модель рекуррентной нейронной сети на основе системы взаимосвязей показателей научно-технологического и инновационного развития субъекта Российской Федерации и региональных институтов инновационного развития. В результате получен прогноз показателей научно-технологического и инновационного развития субъекта Российской Федерации и деятельности региональных институтов инновационного развития, который соотносится с реальной ситуацией в данной сфере.

Ключевые слова: региональная научно-технологическая политика, институты инновационного развития, рекуррентные нейронные сети, прогнозирование, показатели научно-технологического развития, региональная экономика.

Благодарность

Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-78-00011 «Разработка научных основ формирования региональной научно-технической и инновационной политики».

Введение

На современном этапе осуществления попыток структурных сдвигов в экономике России усиливается внимание к научно-технологическому и инновационному развитию в регионах страны, повышается роль органов власти субъектов Российской Федерации в создании условий для поступательного роста технологической составляющей региональных экономик (Алтынер и др., 2022). К свидетельствам повышения интереса со стороны федеральных властей можно отнести серию поручений Президента Российской Федерации, принятую в 2023 году Концепцию технологического развития Российской Федерации, обновление Стратегии научно-технологического развития Российской

Федерации, запуск формирования в регионах государственных программ по направлению «Научно-технологическое развитие». Внимание региональных властей к данному вопросу можно подчеркнуть указами глав субъектов Российской Федерации¹, где поднимаются вопросы создания условий для научно-технологического и инновационного развития. Также

¹ О дополнительных мерах по стимулированию инвестиционной активности в Красноярском крае и технологического развития региона: Указ Губернатора Красноярского края от 23.09.2022 № 283-уг; Об объявлении 2024 года в республике Татарстан годом научно-технологического развития: Указ Раиса Республики Татарстан от 14.09.2023 № 639.

эти вопросы связаны с деятельностью региональных институтов инновационного развития, которые в последнее время стали создаваться в российских регионах (Дежина, 2021; Голова, 2022; Мыслякова, 2022; Васильева и др., 2023; Егоров, Ковров, 2023; Кузнецова, 2023).

Актуальным становится прогнозирование научно-технологического и инновационного развития российских регионов при формировании региональных государственных программ научно-технологического развития, а также возможных оценок результатов от деятельности региональных институтов инновационного развития (Широв и др., 2016; Аганбегян, 2019). Цель исследования – разработка и апробация методики прогнозирования научно-технологического и инновационного развития региона на основе рекуррентных нейронных сетей. Нейронная сеть – это математическая модель, которая основывается на принципах работы головного мозга живых организмов, то есть состоит из узлов (нейронов) и каналов их связи, каждый из которых оказывает влияние на результат. Отличительной чертой рекуррентной нейронной сети по сравнению с другими архитектурами является то, что при прогнозировании нейроны учитывают не только текущий вход, но и состояние, в котором он находился ранее, и что происходило с другими нейронами на предыдущих входах. Гипотеза исследования заключается в том, что прогнозирование показателей научно-технологического и инновационного развития региона и деятельности региональных институтов инновационного развития при помощи рекуррентных нейронных сетей даст более точные результаты, чем при использовании метода линейной регрессии, модели скользящего среднего или метода Хольта – Винтерса, в связи с возможностью обучения сети и учета при осуществлении прогноза большего количества взаимосвязанных переменных.

Обзор литературы

В настоящее время большую популярность набирает прогнозирование научно-технологического и инновационного развития, а также использование в экономических исследованиях методов искусственного интеллекта (Coates et al., 2001; Bengisu, Nekhili, 2006). Одним из таких подходов является применение нейро-

сетевых моделей. Прогнозирование на основе нейросетевых моделей осуществляется для рассмотрения динамики социально-экономических показателей регионов, моделирования структуры и динамики человеческого капитала, прогнозирования выработки солнечной энергии, прогнозирования энергопотребления и во многих других областях (Федотов, Семенкин, 2014; Кетова и др., 2020; Pazikadin et al., 2020; Ghaith et al., 2021; Jin et al., 2022).

Обзор научной литературы по вопросам прогнозирования при помощи нейросетевых моделей свидетельствует о высокой точности и адекватности применяемого метода. В исследовании под руководством Т.В. Азарновой авторы осуществляют прогнозирование параметров социально-экономического развития Воронежской области, в рамках которого проводят обучение нейросети за ретроспективный период. В результате констатируется адекватность прогноза реальным экономическим процессам в регионе. При сопоставлении прогноза нейросети и прогноза экспертов применительно к показателю валового регионального продукта авторы отмечают, что прогноз нейросети является более осторожным, при этом отдать предпочтение одному из способов невозможно (Азарнова и др., 2020).

О.В. Китова при помощи нейронных сетей уточняет данные прогноза показателей туризма в регионах с угольной добычей, полученные при использовании линейной регрессии. Автор приходит к выводу, что нейронные сети дают более высокую точность и качество прогноза (Китова и др., 2023; Kitova et al., 2016).

Ю.В. Трифонов использовал нейросетевую модель для прогнозирования экономического потенциала регионов Российской Федерации. Используемая модель позволяет оперативно, эффективно и точно рассчитывать показатели и обрабатывать большие объемы информации (Трифонов и др., 2021).

Цзяю Цю и соавторы применяют нейронные сети с механизмом внимания для прогнозирования цен на акции. Авторы отмечают, что модель, основанная на нейронных сетях, имеет широкую перспективу применения и не уступает существующим классическим методам прогнозирования (Qiu et al., 2019).

Цин Чжан при прогнозировании валового регионального продукта провинции Шаньдун используют нейронную сеть с радиальной базисной функцией в сочетании с генетическим алгоритмом. В результате исследования авторы приходят к выводу, что применение нейронных сетей для прогнозирования валового регионального продукта является целесообразным и достоверным (Zhang et al., 2022).

В исследовании А.В. Бабкина осуществляется сравнительная оценка эффективности различных методов прогнозирования на примере прогноза социально-экономического развития Астраханской области. В результате формируется вывод о том, что прогноз при помощи нейронных сетей показывает меньшее количество ошибок и более высокую степень объективности (Babkin et al., 2015).

Прогнозирование научно-технологического и инновационного развития регионов только набирает популярность, в связи с чем исследователи используют в основном классические методы прогнозирования – метод форсайта и экстраполяции.

Примером работ, посвященных прогнозированию научно-технологического и инновационного развития регионов, является исследование Д.А. Алферьева, который предлагает использовать метод форсайта. Автор делает вывод о том, что применение метода форсайта для долгосрочного прогнозирования эффективно и с его помощью можно сформировать не только сам прогноз, но и способы его осуществления (Алферьев, 2018). Кроме этого, метод форсайта рассматривается для прогнозирования в ряде работ других авторов (Беляков, Шумаков, 2018; Шеломенцева и др., 2015). Однако данный метод не лишен недостатков, он является экспертным, в связи с чем человеческий фактор и качество экспертной группы имеют большое значение при формировании прогноза. Также исследователи отмечают, что в случае формирования прогноза применительно к региону для каждого региона необходима специальная методика, учитывающая его особенности.

Д.А. Ендовицкий формирует прогноз динамики инновационного развития регионов при помощи экстраполяции данных. В результате анализа исходных данных и полученного прогноза автор делает выводы о том, что предло-

женный метод не позволяет делать сколько-нибудь достоверный прогноз динамики инновационного развития, так как функциональная диверсификация в ее составе развивается нестабильно (Ендовицкий и др., 2023).

Таким образом, применяемые в настоящее время методы прогнозирования научно-технологического и инновационного развития имеет некоторые недостатки, что в свою очередь делает актуальным поиск для данных целей новых способов прогнозирования.

Прогнозирование при помощи нейронных сетей получило широкое распространение и является актуальным, качественным и достоверным способом осуществления экономических прогнозов, применимо в рамках осуществления социально-экономического анализа, в том числе анализа территорий. В то же время не удалось найти работ, в которых осуществлялось прогнозирование научно-технологического и инновационного развития регионов методом нейронных сетей, что обуславливает научную новизну проводимого исследования.

Материалы и методы

Для формирования прогноза была выбрана модель системы региональных институтов инновационного развития, включающая нескольких агентов: научно-инновационный фонд, бизнес-инкубатор и технопарк. Такая система институтов инновационного развития, расположенных на территории субъекта Российской Федерации, позволяет решать научно-технологические задачи, являющиеся наиболее актуальными в регионе, но не освещенными на федеральном уровне, а также обеспечить мерами поддержки проекты на всех уровнях готовности технологий и создать комфортную и привлекательную среду в регионе для развития науки, технологий и инноваций (Бывшев, 2024; Мазилев и др., 2020).

В качестве модельного субъекта Российской Федерации был выбран Красноярский край, что обусловлено наличием в регионе двух из трех обозначенных в модели региональных институтов инновационного развития – «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научнотехнической деятельности» (ККФН) и «Красноярский региональный инновационно-технологический бизнес-инкубатор» (КРИТБИ), имеющимся в регионе научно-технологическим

и инновационным потенциалом, подтвержденным, в том числе, Национальным рейтингом научно-технологического развития субъектов Российской Федерации² (2021 г. – 25 место, 2022 г. – 21 место). Деятельность технопарка в регионе спрогнозирована в процессе исследования.

Материалами исследования послужили статистические данные с официальных информационных порталов ККФН³, КРИТБИ⁴, сборники технопарков России⁵, данные Росстата⁶ и единого реестра субъектов малого и среднего предпринимательства Федеральной налоговой службы⁷. В целях обеспечения сопоставимости данных для формирования прогноза использован минимальный период 2020–2022 гг.

Научно-технологическое, инновационное развитие субъектов Российской Федерации, в том числе модельного региона – Красноярского края, можно охарактеризовать с помощью системы показателей, отражающей, в том чис-

ле, результаты работы региональных институтов инновационного развития (табл. 1).

Используемая система показателей основана на общедоступных данных из открытых источников Росстата и ФНС России. Подбор показателей для системы осуществлялся на основе анализа работ Н.И. Комкова, В. Юйшань, В.Г. Басаревой, а также рейтингов научно-технологического и инновационного развития⁸ и целевых индикаторов деятельности региональных институтов инновационного развития⁹ (Басарева, 2019; Комков и др., 2019; Юйшань, 2021).

Деятельность региональных институтов инновационного развития характеризуется системой показателей в соответствии с их уставными целями и задачами, а также показателями, заложенными в государственную программу региона, из которой осуществляется финансирование (табл. 2, 3).

Таблица 1. Система показателей, характеризующих научно-технологическое и инновационное развитие Красноярского края

Код показателя	Показатель	2020	2021	2022
1р	Внутренние затраты на исследования и разработки за счет всех источников, млрд руб.	26,60	29,56	36,50
2р	Используемые передовые производственные технологии, ед.	3932	4145	4421
3р	Количество заявок на результаты интеллектуальной деятельности, ед.	536	489	508
4р	Численность исследователей до 39 лет, чел.	2164	2125	2183
5р	Количество субъектов малого и среднего предпринимательства, осуществляющих деятельность в научно-технологической и инновационной сфере, ед.	210	218	216
6р	Объем инновационных товаров, работ, услуг, млрд руб.	135,37	92,42	98,00

Источник: составлено авторами.

² Национальный рейтинг научно-технологического развития субъектов Российской Федерации // Сайт Минобрнауки РФ. URL: <https://clck.ru/34MTeK> (дата обращения 24.02.2024).

³ Официальный интернет-портал КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности». URL: <https://clck.ru/393GkA> (дата обращения 24.02.2024).

⁴ Официальный интернет-портал КГАУ «Красноярский региональный инновационно-технологический бизнес-инкубатор». URL: <https://kritbi.ru/doc> (дата обращения 24.02.2024).

⁵ Официальный интернет-портал Ассоциация кластеров, технопарков и ОЭЗ России. URL: <https://akitrf.ru/> (дата обращения 24.02.2024).

⁶ Официальный интернет-портал Росстата. URL: <https://24.rosstat.gov.ru/folder/27085> (дата обращения 24.02.2024).

⁷ Единый реестр субъектов малого и среднего предпринимательства Федеральной налоговой службы. URL: <https://ofd.nalog.ru/> (дата обращения 24.02.2024).

⁸ Рейтинг инновационного развития субъектов Российской Федерации. Выпуск 7 НИУ ВШЭ, 2021; Методология Национального рейтинга научно-технологического развития субъектов Российской Федерации // Минобрнауки РФ. URL: <https://clck.ru/32hVJh>

⁹ Об утверждении государственной программы Красноярского края «Развитие малого и среднего предпринимательства и инновационной деятельности»: Постановление Правительства Красноярского края от 30 сентября 2013 года № 505-п.

Таблица 2. Система показателей, характеризующих деятельность ККФН

Код показателя	Показатель	2020	2021	2022
1ф	Средства из бюджета региона на исследования и разработки, млрд руб.	0,15	0,09	0,20
2ф	Средства из бюджета региона на обеспечение деятельности, млрд руб.	0,02	0,02	0,02
3ф	Объем средств привлеченного софинансирования, млрд руб.	0,14	0,17	0,11
4ф	Количество заявок на результаты интеллектуальной деятельности, ед.	34	35	38
5ф	Численность исследователей до 39 лет, чел.	789	576	444
6ф	Количество научно-технических разработок, ед.	14	14	14

Источник: составлено авторами.

Таблица 3. Система показателей, характеризующих деятельность КРИТБИ

Код показателя	Показатель	2020	2021	2022
1и	Средства из бюджета региона на обеспечение деятельности, млрд руб.	0,11	0,11	0,08
2и	Объем средств привлеченного софинансирования, млрд руб.	0,18	0,37	0,18
3и	Количество созданных инновационных субъектов малого и среднего предпринимательства, ед.	16	16	16

Источник: составлено авторами.

Деятельность ККФН направлена на финансовое обеспечение научно-технологической и инновационной сферы Красноярского края путем предоставления грантового финансирования на конкурсной основе на реализацию проектов. Индикаторами, характеризующими деятельность данного регионального института инновационного развития, являются финансовые и результативные показатели, а также показатели охвата деятельностью участников научно-технологических и инновационных процессов региона.

Деятельность КРИТБИ направлена на создание условий для развития субъектов малого и среднего предпринимательства в научно-техно-

логической и инновационной сфере. Его деятельность характеризуют финансовые показатели и показатели формирования среды.

Для прогнозирования деятельности технопарка и оценки его потенциального вклада в научно-технологическое и инновационное развитие Красноярского края на основе сводных данных о деятельности технопарков в России, формируемых Ассоциацией кластеров, технопарков и особых экономических зон (табл. 4), был сформирован алгоритм расчета значений показателей, характеризующих деятельность данного типа региональных институтов инновационного развития.

Таблица 4. Показатели деятельности технопарков в России

№ п. п.	Показатель	2020	2021	2022
1	Количество технопарков в Российской Федерации, ед.	183	129	113
2	Количество регионов присутствия технопарков, ед.	54	39	33
3	Количество заявок на объекты интеллектуальной собственности, созданных резидентами технопарков, ед.	2 222	1 782	1 018
4	Объем инновационных товаров, работ, услуг, отгруженных (выполненных) резидентами технопарков, млн руб.	71 471,04	72 298,31	73 296,53
5	Объем инновационных товаров, работ, услуг, отгруженных (выполненных) в регионах присутствия технопарков, млн руб.	4 723 052,80	4 918 069,00	4 994 516,40
6	Количество объектов интеллектуальной собственности, зарегистрированных в регионах присутствия технопарков, ед.	23364	20 088	19 440
7	Внутренние затраты на исследования и разработки за счет всех источников в регионах присутствия технопарков, млрд руб.	1 118,60	1 132,00	1 224,20
8	Объем затрат на НИОКР резидентами технопарков, млн руб.	33 875	41 719	50 820
9	Инвестиции в инфраструктуру технопарков из бюджетов регионов в расчете на один технопарк, млрд руб.	0,16	0,25	0,30

Источник: составлено авторами.

На первом этапе алгоритма рассчитан средний относительный вклад деятельности одного технопарка в научно-технологическое и инновационное развитие территорий присутствия технопарков в разрезе соответствующих показателей за период 2020–2022 гг. (табл. 5):

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{I_{\text{тех}}^i}{\alpha^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{I_{\text{пер}}^i}{\beta^i}}, \quad (1)$$

где:

i – индекс года (были использованы данные за 3 года: 2020, 2021, 2022);

n – количество лет, за которое используются показатели в рамках исследования;

$I_{\text{тех}}^i$ – значение показателя деятельности технопарков за i -ый год;

$I_{\text{пер}}^i$ – значение показателя научно-технологического и инновационного развития в регионах присутствия технопарков за i -ый год;

α^i – количество технопарков в России в i -ом году;

β^i – количество регионов России, в которых присутствуют технопарки в i -ом году;

λ – доля вклада технопарка в научно-технологическое развитие региона.

В результате получаем средние относительные значения, на основании которых рассчитаем предполагаемые значения показателей деятельности одного технопарка на территории

Красноярского края в период 2020–2022 гг. (табл. 6):

$$I_{\text{тех_Кк}} = I_{\text{Кк}} \times \lambda, \quad (2)$$

где:

$I_{\text{тех_Кк}}$ – значение показателя, получаемое в результате работы технопарка;

$I_{\text{Кк}}$ – значение показателя, характеризующего научно-технологическое и инновационное развитие Красноярского края;

λ – доля вклада технопарка в научно-технологическое и инновационное развитие региона.

Деятельность технопарка характеризуется финансовыми показателями и показателями результата научно-технологической и инновационной деятельности. Полученные данные будут использованы для расчета прогнозных значений, проецируемого в составе региональной системы институтов инновационного развития технопарка.

Каждый показатель, характеризующий деятельность региональных институтов инновационного развития, связан с верхнеуровневыми показателями, характеризующими общее научно-технологическое и инновационное развитие региона. На основе данных связей была составлена модель, используемая в нейронной сети (рисунок).

Представленные связи показателей обусловлены логикой деятельности региональных институтов инновационного развития, а также региональными нормативно-правовыми актами, которые фиксируют показатели деятельности каждого института.

Таблица 5. Доля вклада технопарка в научно-технологическое и инновационное развитие региона присутствия

№ п. п.	Показатель	λ
1	Доля инновационных товаров, работ, услуг, отгруженных (выполненных), создаваемых в технопарках, %	0,4
2	Доля заявок на результаты интеллектуальной деятельности, созданных резидентами технопарков, %	2,3
3	Доля внутренних затрат на исследования и разработки за счет всех источников в регионах присутствия технопарков резидентами технопарков, %	1,1

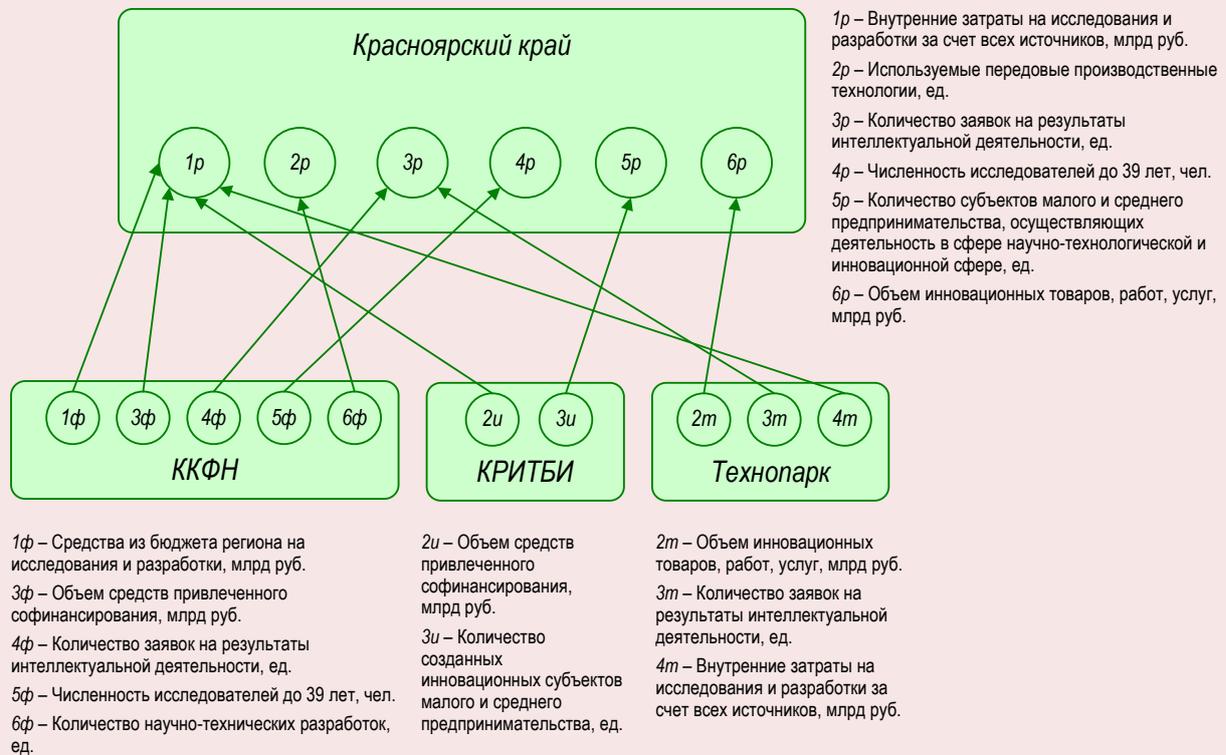
Источник: составлено авторами.

Таблица 6. Потенциальные значения деятельности технопарка в Красноярском крае

Код показателя	Показатель	2020	2021	2022
1т	Средства из бюджета региона на обеспечение деятельности, млрд руб.	0,16	0,25	0,30
2т	Объем инновационных товаров, работ, услуг, млрд руб.	0,54	0,37	0,39
3т	Количество заявок на результаты интеллектуальной деятельности, ед.	12	11	12
4т	Внутренние затраты на исследования и разработки, млрд руб.	0,29	0,33	0,40

Источник: составлено авторами.

Система взаимосвязи показателей деятельности региональных институтов инновационного развития и верхнеуровневых показателей научно-технологического и инновационного развития субъекта РФ



Источник: составлено авторами.

После определения взаимосвязей между системой показателей научно-технологической и инновационной сферы субъекта РФ и региональными институтами инновационного развития рассмотрим процесс прогнозирования на основе нейронной сети. Работу нейронной сети опишем следующей функцией:

$$\text{sign}(w_0 + w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_dx_d). \quad (3)$$

Для прогнозирования временных рядов необходима модель, которая не будет воспринимать входы как независимые переменные. Рекуррентная нейронная сеть учитывает при прогнозировании не только текущее значение ряда, но и предыдущие. В представленной модели выход нейронной сети зависит от трех предыдущих значений входов. То есть реализованная модель работает с тремя своими предыдущими вычислениями:

$$\begin{aligned} y_i &= f(x_{i-3}, x_{i-2}, x_{i-1}, s_2) = \\ &= f(x_{i-3}, x_{i-2}, x_{i-1}, h(x_{i-4}, x_{i-3}, x_{i-2}, s_1)) = \\ &= f(x_{i-3}, x_{i-2}, x_{i-1}, h(x_{i-4}, x_{i-3}, x_{i-2}, \\ &\quad h(x_{i-5}, x_{i-4}, x_{i-3}, s_0))), \end{aligned} \quad (4)$$

где: s_0 – начальное состояние сети (скрытое состояние нейронной сети, которое зависит от ее состояний на предыдущих шагах вычисления и текущего входа в данном случае нулевой вектор);

f – функция, содержащая в себе параметры сети (количество слоев, количество нейронов на каждом слое и др.);

h – функция активации;

$X = (x_1, x_2, \dots, x_d)$ – входные данные нейронной сети. В рамках данного исследования на вход нейронной сети подавались многомерные временные ряды.

Обучение нейросетевых моделей происходило при помощи градиентных методов (Adam, AdamW, RMSprop).

Перед построением нейросетевых моделей осуществлялась предварительная обработка входных данных двумя этапами.

Первый этап – аугментация данных, осуществлялся методом локальной интерполяции полиномом (формула 5):

$$F(X) = a_0 + a_1 \times x + a_2 \times x^2 + \dots + a_m \times x^m, \quad (5)$$

где $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ – порядковый номер значения показателей институтов инновационного развития, на основании которых строится полином.

На основе построенного интерполяционного полинома производится аугментация данных, с помощью изменения интенсивности аугментации:

$$F(X) = a_0 + a_1 \times x + a_2 \times x^2. \quad (6)$$

После проведения этапа аугментации получен расширенный набор данных, на основании которого будет построена нейросетевая модель.

Второй этап – масштабирование данных. Масштабирование осуществляется по:

$$x_{new} = \frac{(x_i - x_{min})}{(x_{max} - x_{min})}, \quad (7)$$

где x_i – i -е значение в наборе данных;
 x_{max} – максимальное значение в наборе данных;
 x_{min} – минимальное значение в наборе данных.

В результате этапа масштабирования получаем набор данных, который лежит в диапазоне от 0 до 1.

В ходе исследования была разработана комплексная модель на основании нейронных сетей для прогнозирования каждого показателя научно-технологического и инновационного развития субъекта РФ и системы региональных институтов инновационного развития. Данные о количестве слоев, количестве нейронов и типах функции активации представлены в таблице 7.

Таблица 7. Основные характеристики разработанных рекуррентных нейронных сетей

Код показателя	Количество скрытых слоев	Количество нейронов на каждом слое	Функция активации
Красноярский край			
1р	3	[9,6,5]	сигмоид
2р	5	[6,12,5,6,3]	гиперболический тангенс
3р	6	[12,10,8,6,8,8]	сигмоид
4р	4	[11,9,6,4]	
5р	2	[8,4]	
6р	3	[9,4,5]	
ККФН			
1ф	5	[6,7,5,2,2]	сигмоид
2ф	5	[8,9,7,3,2]	
3ф	3	[10,8,5]	
4ф	7	[8,6,5,9,5,4,3]	
5ф	6	[5,6,8,7,3,2]	
6ф	4	[4,3,5,5]	
КРИТБИ			
1и	6	[8,9,6,5,6,4]	гиперболический тангенс
2и	8	[8,5,6,6,6,7,8,9]	
3и	3	[3,3,4]	сигмоид
Технопарк			
1т	5	[8,6,5,3,3]	сигмоид
2т	5	[10,7,5,6,2]	
3т	3	[8,5,3]	
4т	4	[6,5,5,2]	

Источник: составлено авторами.

Построение модели выполнялось по следующему алгоритму: 1. Разделение исторических данных на обучающую и тестовую выборку в соотношении 79:21; для обучающей выборки по Красноярскому краю¹⁰ использованы значения показателей Росстата с 2009 года, по ККФН¹¹ также использованы значения показателей с 2009 года, а по показателям – численность исследователей до 39 лет и количество научно-технических разработок – с 2016 и 2017 года соответственно, по КРИТБИ¹² и Технопарку¹³ аугментированные значения показателей с 2020 по 2022 год; для тестовой выборки взяты значения показателей для всех агентов в период 2020–2022 гг.

2. Подбор архитектуры и настройка весовых коэффициентов нейросетевых моделей на обучающем наборе данных градиентными методами (Adam, AdamW, RMSprop). То есть обучение происходит следующим образом: запускается нейросетевая модель на наборе тестовых данных, с единичными весовыми коэффициентами, далее вычисляется значение функции потерь и с помощью градиентных методов определяется направление, в котором оно будет меньше, то есть чем меньше значение целевой функции, тем точнее прогноз.

3. Выполнение прогноза и проверка точности модели на тестовом наборе данных.

На этапе прогнозирования для сопоставления по годам всех показателей было использовано десятое прогнозное значение моделей КРИТБИ, так как интенсивность аугментации равна 10.

В качестве метрики для определения точности прогноза нейросетевой модели приме-

нялась средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE), так как она является одной из самых распространенных метрик, используемых при вычислении процента ошибки прогнозирования.

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|, \quad (8)$$

где:

n – размер обучающей выборки;

A_t – фактическое значение;

F_t – прогнозируемое значение.

Средняя точность прогнозирования полученной нейросетевой модели на тестовых исторических данных составляет 91,53%. Для сравнения был осуществлен прогноз другими методами, средняя точность на аналогичных данных для метода линейной регрессии – 79,94%, скользящего среднего – 76,87% и метода Хольта – Винтерса – 81,14%, что свидетельствует о преимуществе примененного метода по параметру точности. Кроме того, значимым преимуществом данного метода является возможность учета взаимосвязей между большим количеством показателей, влияющих на прогноз.

В результате модель научно-технологического и инновационного развития субъекта РФ с системой региональных институтов инновационного развития, состоящая из нескольких агентов, реализована в виде программной системы – рекуррентной нейронной сети, при помощи которой составлен прогноз.

Эмпирический анализ результатов прогноза научно-технологического и инновационного развития Красноярского края

Проведенное исследование позволило составить прогноз динамики показателей, характеризующих научно-технологическую и инновационную сферу Красноярского края, а также результатов деятельности региональных институтов инновационного развития и спроецировать эффекты от создания технопарка на территории модельного субъекта Российской Федерации. В таблице 8 представлен результат работы, реализованной системы, номер показателя соотносится с номерами, указанными в описании агентов.

¹⁰ Официальный интернет-портал Росстата. URL: <https://24.rosstat.gov.ru/folder/27085> (дата обращения 24.02.2024).

¹¹ Официальный интернет-портал КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности». URL: <https://clck.ru/3BBNHR> (дата обращения 24.02.2024).

¹² Официальный интернет-портал КГАУ «Красноярский региональный инновационно-технологический бизнес инкубатор». URL: <https://kritbi.ru/doc> (дата обращения 24.02.2024).

¹³ Официальный интернет-портал Ассоциация кластеров, технопарков и ОЭЗ России. URL: <https://akitrf.ru/> (дата обращения 24.02.2024).

Таблица 8. Прогноз для показателей научно-технологического и инновационного развития Красноярского края и региональных институтов инновационного развития

Код показателя	Прогноз							
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Красноярский край								
1р	43,61	51,37	55,05	65,88	69,90	76,42	80,37	84,41
2р	4538	4751	4838	5263	5324	5581	5602	5641
3р	532	575	581	613	616	658	682	699
4р	2208	2224	2229	2401	2428	2498	2536	2561
5р	218	221	221	223	223	224	224	224
6р	102,24	112,11	114,76	126,84	130,88	138,48	140,09	141,69
ККФН								
1ф	0,25	0,18	0,22	0,27	0,29	0,36	0,37	0,41
2ф	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,07
3ф	0,17	0,18	0,19	0,20	0,23	0,28	0,29	0,30
4ф	38	39	39	40	41	43	43	43
5ф	621	579	602	625	626	633	639	645
6ф	16	16	16	17	17	17	18	19
КРИТБИ								
1и	0,09	0,12	0,13	0,14	0,15	0,18	0,18	0,19
2и	0,33	0,26	0,27	0,34	0,37	0,40	0,42	0,42
3и	17	17	17	18	18	19	19	19
Технопарк								
1т	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,46	0,48	0,50
2т	0,43	0,45	0,52	0,54	0,59	0,63	0,64	0,68
3т	12	12	12	13	13	14	14	14
4т	0,46	0,52	0,58	0,73	0,76	0,78	0,85	0,85

Источник: составлено авторами.

Совокупная динамика всех показателей, использованных в исследовании, характеризующих научно-технологическое развитие Красноярского края и деятельность региональных институтов инновационного развития, включая моделируемые показатели деятельности технопарка, имеет положительную тенденцию и отражает высокий уровень динамики показателей научно-технологического и инновационного развития Красноярского края в перспективе 2030 года.

В базовом периоде, использованном для составления прогноза (2020–2022 гг.), учтены два года, имеющие кризисные тенденции для экономики страны: 2020 год – начало пандемии COVID-19 и 2022 год – начало санкционного давления недружественных стран на экономику Российской Федерации. Стоит отметить, что в 2020 году один из ключевых показателей, характеризующих научно-технологическое и инновационное развитие территорий – внутренние

затраты на исследования и разработки за счет всех источников – в сравнении с 2019 годом в Красноярском крае снизился всего на 1,85%, при этом в 2022 году он вырос по сравнению с 2021 годом на 23,5%, а в сравнении с докризисным 2019 годом – на 34,7%. Это свидетельствует о незначительном влиянии кризисных явлений на исследуемую сферу.

Рассмотрим результаты прогноза в отношении показателей результативности научно-технологической и инновационной сферы в Красноярском крае. Количество заявок на результаты интеллектуальной деятельности в 2030 году вырастет на 37,6% в сравнении с 2022 годом, региональные институты инновационного развития обеспечат 12,3% данного показателя. Количество используемых передовых производственных технологий увеличится на 27,6%, однако доля региональных институтов инновационного развития в значении данного показателя останется незначительной. Объем инно-

вационных товаров, работ и услуг вырастет на 44,6%, при этом деятельность проецируемого на территории модельного региона технопарка будет обеспечивать 1,88% объема показателя. Темп роста показателей результативности научно-технологической и инновационной сферы значительно ниже темпа роста показателя финансового обеспечения исследуемой сферы, что косвенным образом свидетельствует о высоких темпах инфляции в период прогноза, а также роста оплаты труда в научно-технологической и инновационной сфере. Рост оплаты труда согласуется с посланием Президента РФ Федеральному собранию, где обозначена необходимость конвертации роста ВВП страны в повышение доходов населения.

Тенденции, выявленные на основании прогноза, свидетельствуют, что кризисные явления не только особым образом не повлияли на научно-технологическую и инновационную сферу региона, но и создали предпосылки для ее развития, заключающиеся в необходимости решения задач и преодоления вызовов, возникших перед российским обществом, в том числе при помощи научно-технологической и инновационной сферы. Столь высокая динамика показателей, отраженная в прогнозе, не выглядит фантастической для Красноярского края. Рост внутренних затрат на исследования и разработки в период прогноза подкреплен текущим ростом инвестиций в экономику региона. По данному параметру по итогам 2023 года регион занимает 7 место в Российской Федерации и 1 место в Сибирском федеральном округе, при этом наибольшее увеличение инвестиционной активности организаций в 2023 году было зафиксировано как раз в научно-технологической и инновационной сфере¹⁴. Таким образом, рост внутренних затрат на исследования и разработки обеспечит и рост показателей результативности сферы, таких как результаты интеллектуальной деятельности, инновационные товары, работы, услуги и передовые производственные технологии, что в свою очередь положительно повлияет на социально-экономическое развитие региона.

¹⁴ Рост инвестиций в Красноярском крае по итогам 2023 года составил 23% // Корпорация развития Енисейской Сибири. URL: <https://clck.ru/39h6k7> (дата обращения 27.03.2024).

Рост численности исследователей до 39 лет, представленный в прогнозе, тоже выглядит вполне достижимым. Основная часть научных, исследовательских и инновационных организаций сосредоточена в столице региона г. Красноярске, который в отличие от всего края, имеющего отрицательную динамику численности населения, сократившейся в период с 2018 по 2022 год на 0,9%, характеризуется ее положительным приростом. За аналогичный период население Красноярска увеличилось на 9,2%, что обеспечивает высокий потенциал для роста численности исследователей в возрасте до 39 лет.

Вывод

В рамках исследования предложен и апробирован методический подход к прогнозированию показателей научно-технологического и инновационного развития региона и деятельности региональных институтов инновационного развития на основе рекуррентных нейронных сетей, являющихся элементом искусственного интеллекта. Его интеграция в различные общественные сферы позволяет принимать оптимальные решения для управления как конкретными компаниями, так и отраслями в целом, что дает возможность использовать предложенный методический подход для формирования прогнозов показателей научно-технологического и инновационного развития регионов в рамках разработки стратегических и программных документов регионального уровня в исследуемой сфере, в том числе региональных государственных программ научно-технологического развития, проектируемых в настоящее время в регионах по поручению Президента Российской Федерации.

В результате апробации предложенного методического подхода выявлено его преимущество перед такими способами прогнозирования, как метод линейной регрессии, модель скользящего среднего или метод Хольта – Винтерса, в части точности прогнозных значений и возможности учитывать взаимосвязи между большим количеством показателей, что в свою очередь повышает точность прогноза.

Полученные в ходе исследования прогноз-ные значения выглядят реалистичными в силу их согласованности с целевыми ориентирами, заданными стратегическими и программными

документами для научно-технологической и инновационной сферы, а также соответствия реализуемой в настоящее время политики, направленной на импортозамещение. Кроме того, научно-технологическая и инновационная сфера показала низкую зависимость от кризисных явлений начала текущего десятилетия, что косвенно подтверждает ее устойчивость к возможным кризисным явлениям будущего.

Положительная динамика показателей научно-технологического и инновационного развития отражает тенденцию повышения уровня технологичности экономики Красноярского края, выраженную как увеличением затрат на НИОКР, так и ростом человеческого капитала, характеризующегося увеличивающейся численностью исследователей до 39 лет в противовес снижению общей численности населения данной возрастной группы, обусловленному низкой рождаемостью в Красноярском крае в 1991–2007 гг. Обозначенный рост будет осу-

ществляться за счет повышения привлекательности научно-технологической и инновационной сферы для молодого поколения в сравнении с традиционными для региона сферами занятости населения, а также привлечения в регион жителей соседних субъектов Российской Федерации. Позитивные тенденции в научно-технологической и инновационной сфере отражают общее положительное социально-экономическое развитие региона, который подтвердит статус одного из передовых экономических центров Сибири и Дальнего Востока.

Деятельность региональных институтов инновационного развития благоприятно сказывается на росте показателей научно-технологической и инновационной сферы, при этом их относительный вклад в развитие сферы остается на сопоставимом с базовым периодом уровне, что свидетельствует о стабильности и относительной самостоятельности научно-технологической и инновационной сферы региона.

Литература

- Аганбегян А.Г. (2019). Анализ и прогнозирование социально-экономического развития регионов (методические заметки) // Среднерусский вестник общественных наук. Т. 17. № 14. С. 15–28. DOI: 10.22394/2071-2367-2019-14-4-15-28
- Азарнова Т.В., Трещевский Ю.И., Папин С.Н. (2020). Прогнозирование параметров социально-экономического развития региона с использованием аппарата нейронных сетей (на примере ВРП Воронежской области) // Современная экономика: проблемы и решения. № 3 (123). С. 8–25. DOI: <https://doi.org/10.17308/meps.2020.3/2321>
- Алтынер А., Бозкурт Э., Топчуоглу О. (2022). Влияние расходов на НИОКР на экспорт высокотехнологичной продукции // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. Т. 15. № 5. С. 153–169. DOI: 10.15838/esc.2022.5.83.8.
- Алферьев Д.А. (2018). Теоретико-методические аспекты долгосрочного прогнозирования научно-технологического развития // Управление инвестициями и инновациями. № 1. С. 5–16. DOI: 10.14529/iimj180101
- Басарева В.Г. (2019). Малые инновационные предприятия регионов: стратегические ориентиры и тактика их достижения // Регион: Экономика и Социология. № 2 (102). С. 224–245. DOI: 10.15372/REG20190210
- Беляков Г.П., Шумаков Ф.П. (2018). Особенности прогнозирования научно-технологического развития региона // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Т. 2. № 4(14). С. 773–775.
- Бывшев В.И. (2024). Формирование модели научно-технологической и инновационной политики в субъекте Российской Федерации // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Гуманитарные науки. Т. 17. № 1. С. 117–136.
- Васильева И.Н., Розова О.И., Корнеева Н.Д., Богатова Р.С. (2023). Эффективность государственной научно-технической политики в Российской Федерации: методика оценки и результаты ее апробации // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. Т. 16. № 6. С. 155–173. DOI: 10.15838/esc.2023.6.90.9
- Голова И.М. (2022). Научно-технический потенциал регионов как основа технологической независимости РФ // Экономика региона. Т. 18. № 4. С. 1062–1074. DOI: <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-4-7>
- Дежина И.Г. (2021). «Выбор победителей» в современной научной политике России // Вопросы государственного и муниципального управления. № 3. С. 53–74.

- Егоров Н.Е., Ковров Г.С. (2023). Анализ методов рейтингования для оценки научно-технологического развития федеральных округов РФ // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). Т. 14. № 4. С. 698–715. DOI: 10.18184/2079-4665.2023.14.4.698-715
- Ендовицкий Д.А., Трещевский Ю.И., Канапухин П.А., Кособуцкая А.Ю. (2023). Эмпирический анализ и прогнозирование динамики инновационного развития регионов России // Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление. № 1. С. 51–64. DOI: 10.17308/econ.2023.1/10932
- Кетова К.В., Русяк И.Г., Вавилова Д.Д. (2020). Математическое моделирование и нейросетевое прогнозирование структуры и динамики человеческого капитала Российской Федерации // Вестник Том. гос. ун-та. Управление, вычислительная техника и информатика. № 53. С. 13–24. DOI: 10.17223/19988605/53/2
- Китова О.В., Савинова В.М., Дьяконова Л.П., Бондаренко Ю.О. (2023). Прогнозирование показателей туризма в регионах с угольной добычей: анализ возможностей с использованием информационно-аналитической системы «Горизонт» // Уголь. № 11 (1173). С. 88–95. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-11-88-95
- Комков Н.И., Цукерман В.А., Горячевская Е.С. (2019). Анализ основных факторов инновационного развития регионов Арктической зоны РФ // Проблемы прогнозирования. № 1 (172). С. 33–40.
- Кузнецова О.В. (2023). Рейтинг научно-технологического развития регионов: подходы, итоги, вызовы // Проблемы прогнозирования. № 4 (199). С. 94–103. DOI: 10.47711/0868-6351-199-94-103
- Мазилов Е.А., Устинова К.А., Давыдова А.А., Климова Ю.О., Ильин В.А. (2020). Формирование фондов поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности в регионах: состояние, задачи, механизмы реализации. Вологда: ФГБУН ВолНЦ РАН. 43 с.
- Мыслякова Ю.Г. (2022). Индивидуализация стратегий научно-технологического развития экономики индустриальных регионов России с учетом наследственных детерминант // Journal of Applied Economic Research. Т. 21. № 4. С. 685–707. DOI: <http://dx.doi.org/10.15826/vestnik.2022.21.4.024>
- Трифонов Ю.В., Сочков А.Л., Соловьев А.Е. (2021). Оценка экономического потенциала регионов РФ на основе методологии нейросетевого кластерного анализа // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. № 3 (63). С. 38–47. DOI: 10.52452/18115942_2021_3_38
- Федотов Д.В., Семенкин Е.С. (2014). О прогнозировании экономических показателей с помощью нейроэволюционных моделей // Сибирский аэрокосмический журнал. № 5 (57). С. 299–304.
- Шеломенцева В.П., Никитин Е.Б., Беспалый С.В., Ифутина Е.А. (2015). Использование метода «форсайт» для прогнозирования научно-технологического и экономического развития старопромышленного региона (на примере Павлодарской области республики Казахстан) // Вестник Омского университета. Серия «Экономика». № 4. С. 242–248.
- Широв А.А., Гусев М.С., Саяпова А.Р., Янговский А.А. (2016). Научно-технологическая компонента макроструктурного прогноза // Проблемы прогнозирования. № 6 (159). С. 3–17.
- Юйшань В. (2021). Инновационное развитие китайских регионов: опыт и рекомендации для России // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). Т. 12. № 2. С. 145–159. DOI: <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2021.12.2.145-159>
- Babkin A.V., Karlina E.P., Epifanova N.S. (2015). Neural networks as a tool of forecasting of socioeconomic systems strategic development. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 207, 274–279.
- Bengisu M., Nekhili R. (2006). Forecasting emerging technologies with the aid of science and technology databases. *Technological Forecasting and Social Change*, 73(7), 835–844. DOI <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.09.001>
- Coates V., Farooque M., Klavans R. et al. (2001). On the future of technological forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*, 67(1), 1–17. DOI [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(00\)00122-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(00)00122-0)
- Ghaith Z., Kulshreshtha S., Natcher D., Cameron B.T. (2021). Regional computable general equilibrium models: A review. *Journal of Policy Modeling*, 43(3), 710–724. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2021.03.005>
- Jin N., Yang F., Mo Yu. et al. (2022). Highly accurate energy consumption forecasting model based on parallel LSTM neural networks. *Advanced Engineering Informatics*, 51, 101442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101442>
- Kitova O.V., Kolmakov I.B., Dyakonova L.P. et al. (2016). Hybrid intelligent system of forecasting of the socio-economic development of the country. *International Journal of Applied Business and Economic Research*, 14(9), 5755–5766.

- Pazikadin A.R., Rifai D., Ali K. et al. (2020). Solar irradiance measurement instrumentation and power solar generation forecasting based on Artificial Neural Networks (ANN): A review of five years research trend. *Science of The Total Environment*, 715, 136848.
- Qiu J., Wang B., Zhou C. (2019). Forecasting stock prices with long-short term memory neural network based on attention mechanism. *PLoS ONE*, 2.15(1): e0227222. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227222>
- Zhang Q., Abdullah A.R., Chong C.W., Ali M.H.A. (2022). Study on regional GDP forecasting analysis based on Radial Basis Function Neural Network with Genetic Algorithm (RBFNN-GA) for Shandong economy. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 12. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/8235308>

Сведения об авторах

Владимир Игоревич Бывшев – кандидат экономических наук, доцент кафедры, Сибирский федеральный университет (660041, Российская Федерация, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79; e-mail: vbyvshev@sfu-kras.ru)

Светлана Александровна Королева – ведущий аналитик, Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности (660100, Российская Федерация, г. Красноярск, ул. Карла Маркса, д. 246; e-mail: svetlanaevseewa@mail.ru)

Ирина Анатольевна Пантелеева – кандидат философских наук, доцент, доцент кафедры, Сибирский федеральный университет (660041, Российская Федерация, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79; e-mail: panteleevaia@gmail.com); исполнительный директор, Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности (660100, Российская Федерация, г. Красноярск, ул. Карла Маркса, д. 246)

Иван Владимирович Писарев – аспирант, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева (660037, Российская Федерация, г. Красноярск, пр. им. газеты Красноярский рабочий, д. 31; e-mail: ivanpisarev24@yandex.ru); главный специалист, Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности (660100, Российская Федерация, г. Красноярск, ул. Карла Маркса, д. 246)

Byvshev V.I., Koroleva S.A., Panteleeva I.A., Pisarev I.V.

Forecasting the Indicators of Scientific, Technological and Innovative Development of the Region Using Recurrent Neural Networks

Abstract. The article forecasts indicators of scientific, technological and innovative development of a constituent entity of the Russian Federation and regional institutions of innovative development using recurrent neural networks. Forecasting using neural networks has become widespread and is a relevant, high-quality and reliable way of making economic forecasts and is applicable within the framework of socio-economic analysis, including analysis of territories. However, when studying the scientific literature, it was not possible to find works in which the scientific, technological and innovative development of regions was predicted using the neural network method, which determines the scientific novelty of the research being carried out. The relevance of the study is due to the increasing attention on the part of regional authorities to the scientific, technological and innovative development of territories and the need to form state programs of the constituent entities of the Russian Federation in the field of scientific and technological development. The research hypothesis is that forecasting indicators of scientific, technological and innovative development of the region and the activities of regional institutions for innovative development using recurrent neural networks will give more accurate results than using the linear regression method, moving average model or the Holt – Winters method. As part of the study, a recurrent neural network model was formed based on a system of interconnection of indicators of scientific, technological and innovative development of a constituent entity of the Russian Federation and regional

institutions of innovative development. As a result, a forecast of indicators of scientific, technological and innovative development of a constituent entity of the Russian Federation and the activities of regional institutions for innovative development was obtained, which correlates with the real situation in this area.

Key words: regional scientific and technological policy, innovative development institutions, recurrent neural networks, forecasting, scientific and technological development indicators, regional economy.

Information about the Authors

Vladimir I. Byvshev – Candidate of Sciences (Economics), associate professor of department, Siberian Federal University (79, Svobodny Avenue, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation; e-mail: vbyvshev@sfu-kras.ru)

Svetlana A. Koroleva – Leading Analyst, Krasnoyarsk Regional Fund for Support of Scientific and Scientific-Technical Activities (246, Karl Marx Street, Krasnoyarsk, 660100, Russian Federation; e-mail: svetlanaevseewa@mail.ru)

Irina A. Panteleeva – Candidate of Sciences (Philosophy), Associate Professor, associate professor of department, Siberian Federal University (79, Svobodny Avenue, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation; e-mail: panteleevaia@gmail.com); executive director, Krasnoyarsk Regional Fund for Support of Scientific and Scientific-Technical Activities (246, Karl Marx Street, Krasnoyarsk, 660100, Russian Federation)

Ivan V. Pisarev – postgraduate student, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology (31, Prospekt imeni gazety “Krasnoyarsky rabochy”, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation; e-mail: ivanpisarev24@yandex.ru); Chief Specialist, Krasnoyarsk Regional Fund for Support of Scientific and Scientific-Technical Activities (246, Karl Marx Street, Krasnoyarsk, 660100, Russian Federation)

Статья поступила 17.05.2024.