

Научная статья

УДК 330.4

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15610>



МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ)

С.К. Антипов  

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

 skantipov@gmail.com

Аннотация. В данной статье разбираются основные предпосылки межрегионального взаимодействия регионов Арктической зоны Российской Федерации, как наиболее важной предпосылки для достижения как геополитического, так и экономического лидерства страны на мировой арене. Рассматриваются возможные перспективы количественного моделирования этого взаимодействия, в виду важности численной оценки реалий и построения прогнозов, обеспечивающих верные принимаемые решения. В статье разбираются особенности построения модели устойчивого развития арктических регионов, оценивающей совокупное влияние по трем сферам: экономической, экологической и социальной. Разбираются основные аспекты построения математических моделей как в области указанных сфер, так и их совокупности. Выдвигаются требования к реализации такого рода моделей и, что особенно важно, определяются ключевые параметры, необходимые для успешной реализации моделирования. Описывается процесс формирования модели, способной максимально подробно оценить устойчивое развитие регионов, а также предъявляются требования как к самой модели, так и к показателям в нее входящим. Предлагаются возможные варианты математических моделей, в полной мере способных удовлетворить все условия. Описываются две наиболее предпочтительные модели: ADL и модель на основе нейронной сети, характеризуются области их возможного применения. Строятся ADL-модель и модель нейронных сетей для трех сфер по Мурманской области на примере статистических данных за 30 лет с 1988 по 2018 год. Оценивается точность полученных результатов на основе сравнения эмпирических и фактических значений, также приводится численная оценка погрешности на основе MAPE подхода. Приводится сравнение указанных моделей и анализируются возможности их применения, а также ограничения использования этих моделей. Описываются возможности применения разобранных моделей с указанием достоинств и ограничений как для оценки устойчивого развития отдельных территорий, так и для страны в целом. Дается вектор для дальнейшего исследования в области устойчивого развития регионов.

Ключевые слова: моделирование, устойчивое развитие, ADL модель, нейронная сеть, развитие территорий, арктическая зона

Для цитирования: Антипов С.К. Моделирование устойчивого развития Арктических регионов Российской Федерации (на примере Мурманской области) // П-Economy. 2022. Т. 15, № 6. С. 146–159. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15610>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15610>

MODELING OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE ARCTIC REGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION (ON THE EXAMPLE OF THE MURMANSK REGION)

S.K. Antipov  Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation skantipov@gmail.com

Abstract. This article examines the main prerequisites for interregional cooperation between the regions of the Arctic zone of the Russian Federation, as the most important prerequisites for achieving both geopolitical and economic leadership of the country on the world stage. Possible prospects for quantitative modeling of this interaction are considered in view of the importance of numerical assessment of realities and making forecasts that ensure correct decisions. The article examines the features of building a model of sustainable development of the Arctic regions assessing the cumulative impact in three areas: economic, environmental and social. The main aspects of the construction of mathematical models are analyzed both in the field of these spheres and their totality. The requirements for the implementation of such models are put forward and, most importantly, the key parameters necessary for the successful implementation of modeling are determined. The process of forming a model capable of assessing the sustainable development of regions in as much detail as possible is described, as well as requirements are imposed both on the model itself and on the indicators included in it. Possible variants of mathematical models are proposed that are fully capable of satisfying all conditions. The two most preferred models are described: ADL and a model based on a neural network; the areas of their possible application are characterized. An ADL model and a model of neural networks for three spheres in the Murmansk region are being built on the example of statistical data for 30 years from 1988 to 2018. The accuracy of the results obtained is estimated based on a comparison of empirical and actual values, and a numerical error estimate based on the MAPE approach is also given. The comparison of these models is given and the possibilities of their application, as well as the limitations of their use, are analyzed. The possibilities of using the disassembled models with the advantages and limitations are described both for assessing the sustainable development of individual territories and for the country as a whole. A vector for further research in the field of sustainable development of regions is given.

Keywords: modeling, sustainable development, ADL model, neural network, territorial development, arctic zone

Citation: S.K. Antipov, Modeling of sustainable development of the Arctic regions of the Russian Federation (on the example of the Murmansk region), *П-Economy*, 15 (6) (2022) 146–159. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15610>

Введение

Основные положения по стратегическому развитию арктической зоны Российской Федерации заключаются в обеспечении консолидации ресурсов и усилий федеральных органов государственной власти, органов власти субъектов Федерации, территории которых полностью или частично входят в состав Арктической зоны, органов местного самоуправления и организаций для решения ключевых проблем развития Арктической зоны и обеспечения национальной безопасности в Арктике. Новый указ президента РФ «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» дополняет и пролонгирует, сформированную и принятую еще в 2013 году стратегию, которая направлена на обеспечение устойчивого развития арктических регионов¹ Арктическая зона является

¹ Указ президента Российской Федерации «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/J8FhckYOPAQQfxN6Xlt6ti6XzpTVAvQy.pdf>

наиважнейшей в геополитическом и экономическом плане. С точки зрения геополитики, безусловно, Арктика привлекательна для многих стран. Несмотря на формальную непринадлежность каким-либо странам, Арктическая зона с каждым годом становится все более и более стратегическим объектом, причем не только для стран, с ней граничащих, но и даже находящихся в другом полушарии. Возможность контроля глобальной территории позволяет иметь существенные преимущества в дипломатических отношениях. Развивающийся Северный морской путь только способствует увеличению привлекательности. Учитывая изменение климатических условий роль СМП будет лишь расти в области национальных и международных перевозок.

С точки зрения экономики наиболее значимым фактором является задел природных ресурсов: нефти, газа и других полезных ископаемых. По данным Росстата запас природного газа с арктических территорий РФ обеспечивает добычу более 80 процентов горючего природного газа и около 17 процентов нефти для страны. Также, по оценкам экспертов, континентальный шельф содержит порядка 85 трлн. куб. метров горючего природного газа и почти 18 млрд. тонн нефти. Конечно, при таких внушительных объемах Арктика является важным стратегическим резервом минерально-сырьевой базы Российской Федерации.

Ключевой задачей для Российской Федерации является не только контроль принадлежащих территорий, но и обеспечение устойчивого развития, которое может быть охарактеризовано совместными и пропорциональными положительными изменениями в трех сферах: экономика, экология и социум (рис. 1).

Устойчивое развитие будет недостижимо, при игнорировании любой из этой сферы, не говоря о реализации действий, приносящих ущерб одной или нескольким из них. Рассмотренная выше схема может быть применена на любом уровне и имеет возможность свободно масштабироваться. Таким образом на ее основе можно проводить анализ как отдельных муниципалитетов, так и регионов и страны в целом [2].

Говоря об устойчивом развитии Арктической зоны Российской Федерации одним из основных аспектов, является необходимость рассмотрения всех муниципальных единиц в совокупности, как целостного механизма. Совершенно очевидно, что для реализации этого механизма необходима комплексная и всесторонняя оценка деятельности регионов, в которую стоит включать как непосредственно социально-экономические и экологические параметры, так и параметры характеризующие деятельность, направленную на развитие науки и технологий, создание современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры, обеспечение экологической безопасности, расширение международного сотрудничества, обеспечение военной безопасности, а также защиты и охраны государственной границы и сохранение суверенитета.

Основная особенность развития именно арктических регионов заключается в крайне непростых климатических условиях, большой территории с недостаточно развитой инфраструктурой, и, следовательно, с нехваткой рабочей силы. Привлечение опытных специалистов невозможно без увеличения финансирования в области оплаты труда. Программы развития арктических регионов, формируемые правительством РФ только за последние пять лет поспособствовали снижению миграционного оттока более чем на 50%, а уровень безработицы к 2021 году упал до рекордных 4% по отношению к 4,6% за 2019 год. Однако, целевые программы в большей степени направлены на рабочие профессии добывающих отраслей. В области развития науки наблюдается иная тенденция. Этот факт можно хорошо проследить на взаимосвязи двух показателей: первый – внутренние текущие затраты на научные исследования и второй – разработки и численность работников, выполнявших научные исследования и разработки. Если оценить корреляционную зависимость между указанными показателями, то результат $r = 0,62$ явно указывает на наличие значимой линейной прямой взаимосвязи: численность научных сотрудников падает с уменьшением финансирования отрасли. В большой степени это обуславливается оттоком ученых, работающих по договору найма. Уменьшение прироста численности работников также обуславливается



Рис. 1. Схема устойчивого развития территорий
Fig. 1. Scheme of sustainable development of territories

колеблемостью субсидирования и полному переносу научных центров на базы крупных учебных и исследовательских учреждений [1].

Аналогичную аналитику можно привести и по другим не перспективным отраслям. Основная проблема состоит в том, что арктические регионы практически полностью зависимы от федерального бюджета, а это в свою очередь ограничивает возможности в реализации локальных стратегий развития. Чтобы решить эту проблему изначально необходимо не только качественно оценить потенциал межрегионального взаимодействия, но и количественно промоделировать его. Такой подход позволит максимально эффективно использовать все возможности и минимизировать риски, а также обеспечит правильность выбора при принятии управленческих решений, в большей степени касающихся среднесрочного и долгосрочного развития.

Актуальность исследования обуславливается тем фактом, что развитие арктической зоны России является одним из приоритетных направлений как в области геополитики, так и экономики. Очевидно, что при реструктуризации и изменении вектора экономического развития Арктика становится все более притягательным регионом для формирования производственных и научных кластеров. Цифровизация, способствующая более продуктивному освоению земель со сложными климатическими условиями, однако, возможность успешного прогнозирования такого развития является важнейшей задачей. Грамотно построенные модели позволят не только достигнуть оптимального уровня прогнозирования, но и сэкономить существенные доли бюджета. Объектом исследования являются регионы арктической зоны Российской Федерации, а предметом – устойчивое развитие.

Теория устойчивого развития хорошо рассматривается в работах многих ученых. S. Baker описывает необходимость устойчивого развития и его количественной оценки в книге “Sustainable Development” [3], а также же R. Hoffmann и С. Park в одноименных статьях [4, 5]. Хайдуков Д.С. и Тасалов К.А в статьях “Основы обеспечения устойчивого развития городской агломерации” и “Реализация концепции устойчивого развития в региональном управлении” оценивают возможность устойчивого развития в региональном разрезе [6], в учебном пособии “Теория устойчивого развития города” Гушин А.Н. говорит о исследуемой проблеме с точки зрения градостроения [7].

Моделирование территориального развития проводились некоторыми учеными, например в работах Диденко Н.И., Скрипнюк Д.Ф и Ромашкиной Г.Ф. [11–14]. Васенко В.К. предлагает выведение новых интегральных показателей для оценки устойчивого развития регионов, что, однако, является очень усредненной оценкой действительности [15]. В статье «Стратегии развития

отраслей экономики как фактор устойчивого развития» Асланян А.А. и др. предлагают определять основные угрозы для устойчивого развития регионов, а также выявление сильных сторон [16]. Все же такая методика не позволяет дать точную количественную оценку развития региона в целом. Лебедев Б.М. в статье «Устойчивое развитие регионов требует новой модели развития страны» развивает идею о моделировании устойчивого развития на государственном уровне и в большей степени модель носит абстрактный характер, что также не позволяет оценить количественную сторону процессов и явлений как на федеральном, так и региональном уровне. Схожие взгляды на устойчивое развитие описывают зарубежные ученые Osama A.B. Hassan в работе «Assessing The Sustainability Of A Region In The Light Of Composite Indicators» и Ozkan R., Schott S. в статье «Sustainable Development and Capabilities for the Polar Region», хотя и больший упор сделан на определение новых характеристик, способных численно оценить величину устойчивого развития [17].

Не смотря на то, что вопрос развития арктической зоны России стоит достаточно остро на данный момент не так много исследований было посвящено моделированию устойчивости развития этих территорий. Хорошую оценку перспектив устойчивого развития дает Бердицкий А.И. в своей статье «Устойчивое развитие Арктической зоны Российской Федерации и климатические аспекты экологической и гидрометеорологической безопасности», а также авторы Зайков К.С., Кондрантов Н.А. и др. в статье «Сценарии развития арктического региона (2020 – 2035 гг.)». [18, 19] Предлагаемый анализ несет в большей степени качественный характер и оценка устойчивости рассматривается в основном на теоретико-методологическом уровне. Более детально основы численной оценки устойчивого развития Арктики разбираются авторами Гутман С.С. и Басовой А.А. в работе «Индикаторы устойчивого развития арктической зоны Российской Федерации: проблемы выбора и измерения» [20]. Основная идея, предлагаемая авторами заключается в формировании ряда индикаторов, отражающих устойчивость развития в каждой из анализируемых сфер. Подобные идеи, основанные на выводе определенных индикаторов также предложены авторами Едисеевой Т.О., а также Сахаровым А.Г. и Андроновой И.В. [21, 22] С одной стороны такой подход достаточно легок для оценки и анализа, но с другой – не дает возможности построить комплексную модель, учитывающую все эти сферы совместно. В частности этот вопрос поднимается в статье «Comparing region-specific sustainability assessments through indicator systems: Feasible or not?», авторов Annemarie van Zeijl-Rozema, Ludovico Ferraguto и Pietro Caratti, на который так и не дано однозначного ответа, но исследователи склонны судить отрицательно [23].

Несмотря на достаточное количество трудов, описывающих способы достижения устойчивого развития и возможные количественные подходы к его оценке все еще нет принятой методики по рекомендуемым к исследованию факторам, выявлению и определению взаимосвязи между этими факторами, что определяет наличие на данный момент нерешенной научной задачи.

Цель исследования

Устойчивое развитие является приоритетным направлением экономики в современном мире. Не для кого не является секретом, что традиционные экономические системы совершенно не состоятельны, а во многом даже губительны для нашей планеты. Безответственное отношение к потреблению ограниченных ресурсов и общемировой экологической ситуации может привести к тому, что последующие поколения окажутся в непростой ситуации дефицита жизненно необходимых ресурсов. Для того, чтобы не допустить такого мировая экономическая система должна быть сбалансирована и безвредна для экологии, притом не в ущерб уровню жизни населения. Особенно остро этот вопрос ставит организация объединенных наций, сформировав специальный термин “Экологическая нейтральность” и формируя целое направление “Экологизация ООН” [ООН и устойчивое развитие: <https://www.un.org/ru/sections/general/un-and-sustainability/>],



которое регламентирует мировую экономическую деятельность и ставит определенные цели и задачи для каждой из стран участников.

Целью проводимого исследования является разработка эконометрической модели устойчивого развития арктических регионов. Разрабатываемая модель должна быть сбалансирована и устойчива, должна обеспечивать точные количественные прогнозы, обладающие минимальной ошибкой. Полученная модель должна пройти апробацию на практике на примере оценки развития Мурманской области. Принимаемые решения по развитию всегда тесно связаны с предикторской аналитикой и в основном завязаны на два ключевых фактора: точность полученных результатов и количество рассматриваемых факторов. В настоящее время технические возможности позволяют получать высочайшую точность расчетов даже при скромных вычислительных мощностях, а эра больших данных открывает новые возможности для формирования широких по охвату параметров динамических моделей.

В данной статье дается описание двух наиболее перспективных моделей для прогнозирования устойчивого развития и приводится пример их апробации на реальных данных по Мурманской области.

Методика исследования

Совершенно очевидно, что для реализации возможности успешного анализа и прогнозирования устойчивого развития регионов необходимо выделить несколько этапов исследования:

- установить основные показатели, характеризующие устойчивое развитие региона;
- установить взаимосвязи между отобранными показателями;
- оценить факторы, оказывающие влияние на отобранные показатели;
- непосредственное моделирование – установление формы взаимосвязи и описание этой взаимосвязи в виде математических закономерностей.

На первичном этапе не так принципиально, какого именно рода будет конечная модель, но для того, чтобы в дальнейшем четко понимать к чему ее можно привести необходимо предъявить ряд требований к моделированию:

1. необходимо иметь возможность корректировать модель как по числу входных факторов, так и по числу определяемых параметров;
2. важно, чтобы модель численно отражала все особенности устойчивого развития как отдельно взятых регионов, так и их взаимосвязь, фактически это означает необходимость формирования многоуровневой модели, включающей в себя по крайней мере три основных сектора: экономку, социум и экологию;
3. построенная модель должна быть максимально гибкой и позволять эффективно строить прогнозы даже при отсутствии части исходных данных;
4. снижение взаимодействия с человеком до минимума, что позволит избежать ошибок, связанных с человеческим фактором;
5. результирующие параметры должны быть максимально наглядны и понятны, обеспечивающие простоту аналитики для дальнейшего принятия решений.

Исходя из всего вышеизложенного можно отметить, что практически не одна модель, существующая на данный момент, не сможет в должной мере удовлетворить всем предъявленным требованиям.

Одной из наиболее адаптируемых моделей является модель распределенного временного лага (ADL модель). Формально, для решения поставленных задач необходимо строить и определять параметры не одной такой модели, а целого семейства, некоторые из которых можно разбить по блокам и сформировать системы взаимосвязанных ADL уравнений [8]. Самым предпочтительным вариантом будет создание системы отдельно для каждого арктического региона, в которую будут включены по три уравнения, численно характеризующих социальное и экономическое раз-

вите, а также экологическую обстановку в регионе. Применение такой модели удобно с точки зрения ее наглядности и простоты вычисления параметров. Немаловажным достоинством является и отслеживание взаимосвязи с учетом лагов, что позволяет выявлять и описывать неявные закономерности. Однако, данный метод не лишен недостатков, к основным из которых можно отнести необходимость первичной подготовки временных рядов данных, проверки их на стационарность и гетероскедстичность, оценки корреляции между ними. Все изложенное усложняет процесс построения модели, как с точки зрения временных ресурсов, так и в виду возможной ошибки, связанной с человеческим фактором.

Уравнение ADL модели в общем виде имеет следующий вид:

$$\begin{cases} Y_t^1 = f(Y_{t-1}^1, Y_{t-1}^2, Y_{t-1}^3, X_{t-1}^1, X_{t-1}^2, X_{t-1}^3 \dots X_{t-1}^m) \\ Y_t^2 = f(Y_{t-1}^1, Y_{t-1}^2, Y_{t-1}^3, X_{t-1}^1, X_{t-1}^2, X_{t-1}^3 \dots X_{t-1}^m), \\ Y_t^3 = f(Y_{t-1}^1, Y_{t-1}^2, Y_{t-1}^3, X_{t-1}^1, X_{t-1}^2, X_{t-1}^3 \dots X_{t-1}^m) \end{cases}$$

где Y_t^1, Y_t^2, Y_t^3 – ключевые показатели отдельно по каждой из рассматриваемых сфер (экономическая, социальная, экологическая), а X_t^k – факторы, оказывающие наибольшее влияние на эти показатели.

Вторым вариантом являются модели, основанные на нейронных сетях. Данная методика хорошо себя зарекомендовала и широко распространяется в области больших данных, а значит позволит получить адекватные результаты в поставленной задаче. Особенность нейросетевых моделей состоит в том, что исследователю нет необходимости изначально оценивать взаимосвязи между рядами данных, достаточно лишь задать входные и выходные переменные. Это умозаключение вполне справедливо, но с некоторой оговоркой. Для того, чтобы модель грамотно анализировала входные переменные и давала на выход именно то, что требуется, необходимо чтобы она была верно построена и обучена. Именно обучение можно отнести к минусам данного подхода, поскольку это требует больших затрат временных ресурсов и широкого набора данных для обучения [9]. Указанный минус нивелируется серьезными достоинствами: способностью быстрого построения модели с любым заданным числом скрытых слоев и входных переменных; модель способна к масштабированию и практически неограниченному увеличению объема данных. В сущности, стоит отметить, что для реализации, поставленной задачи модель, основанная на нейронной, сети скорее является не самостоятельным решением, а надстройкой, способной автоматизировать процесс определения параметров системы ADL уравнений.

На рис. 2 представлен общий принцип построения нейронной сети с k скрытыми слоями, n входными переменными и m выходными. Для успешного решения задачи прогнозирования устойчивого развития вполне достаточно 2-3 скрытых слоев, а выходных переменных (Outputs) должно быть 3, по одной для каждой оцениваемой сферы. Количество же входных переменных (Inputs) ограничивается только желанием и возможностью в области поиска исходных статистических данных.

Проходя через цепочку скрытых слоев (Hidden layers) нейронная сеть оценивает значимость взаимосвязи между входными данными и присваивает каждой из них свой параметр (вес), впоследствии только значимые из них выводятся в выходной слой, который образует выходные переменные. Данная методика хорошо себя зарекомендовала и широко распространяется в области больших данных, а значит позволит получить адекватные результаты в поставленной задаче. Единственной особенностью является выбор пороговой функции, на основе которой нейронная сеть будет фильтровать данные по степени их значимости. Для этого в каждой ячейке S находится сумматор, оценивающий порог на основе стандартных функций, вида:

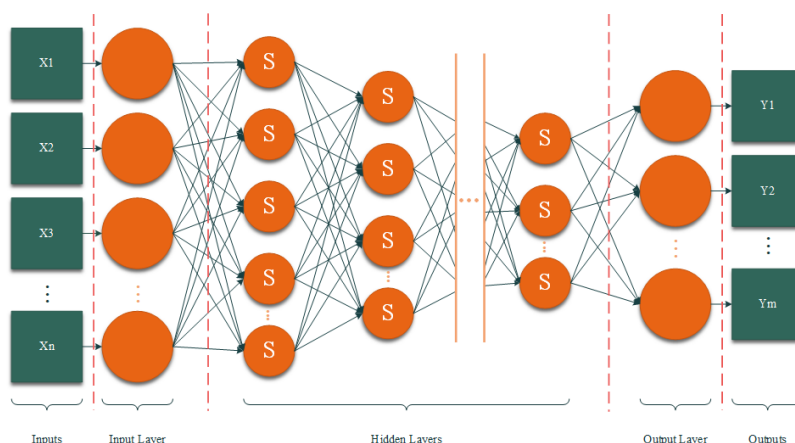


Рис. 2. Общий принцип построения нейронной сети
 Fig. 2. General principle of building neural networks

$$y = F\left(\sum_{i=0}^n w_i x_i\right),$$

где x_i – входы нейрона; w_i – весовые коэффициенты синаптических связей нейрона. При этом $x_0 = -1$, а w_0 – пороговый уровень нейрона.

Результаты и обсуждение

Для апробации построения моделей устойчивого развития была выбрана Мурманская область, были собраны статистические данные по показателям, характеризующими экономическую, социальную и экологическую сферы за 30 лет с 1988 по 2019 годы (<https://gks.ru>; <https://murmanskstat.gks.ru/>). 2019 год был выбран как контрольный: количественные модели были построены на основе данных с 1988 по 2018 гг., а результат прогноза на 2019 и 2020 года сравнивался с фактическим значением. Эта мера необходима для дальнейшей оценки качества полученных моделей.

Вопрос выбора количественных показателей для оценки устойчивого развития регионов описывается в трудах Перелет Р.А., Диденко Н.И. и Radion. М [6, 10, 11]. На основе данной методики были выбраны ключевые показатели по каждой из трех сфер, наиболее емко их характеризующие. Важными критериями выбора показателей являлась однозначность описания показателем оцениваемой характеристики или сферы, численная измеримость и доступность данных в официальных источниках.

Экономическая сфера оценивается следующими показателями:

- Валовой региональный продукт;
- Объем инвестиций в основной капитал;
- Оборот розничной торговли;
- Внешнеторговый оборот;
- Индекс потребительских цен;
- Уровень безработицы;
- Коэффициент естественного прироста;
- Доход на душу населения;
- Численность экономически-активного населения;
- Оборот розничной торговли;

- Индекс промышленного производства;
- Индекс производства сельского хозяйства.

Социальная сфера оценивается показателями:

- Индекс развития человеческого потенциала;
- Количество больниц и учреждений здравоохранения для взрослого населения;
- Количество детских больниц и учреждений здравоохранения;
- Количество досуговых центров на 1000 чел.;
- Количество школ и учреждений среднего уровня образования;
- Количество учреждений среднего специального и профессионального образования;
- Количество высших учебных заведений;
- Уровень развитости дорожной сети в % от общего числа территорий;
- Количество вокзалов и аэропортов;
- Количество пользователей мобильных телесистем;
- Количество пользователей сети интернет.

Экологическая:

- Уровень выбросов CO₂;
- Загрязнение атмосферного воздуха;
- Уровень загрязнения питьевой воды;
- Уровень загрязнения источников питьевого и рекреационного назначения;
- Уровень загрязнения почв селитебных территорий;
- Процент изменения геологической среды;
- Процент изменения детской смертности;
- Процент пороков развития новорожденных;
- Средняя продолжительность жизни;
- Изменение заболеваемости;
- Доля онкологических заболеваний;
- Доля промышленных предприятий от общего числа;
- Эффективная доля облучения;
- Деформации земной поверхности;
- Процент уменьшения биоразнообразия.

Собранные статистические данные, представляющие собой временные ряды, были проверены на стационарность, в случае выявления не стационарности была проведена проверка на гетероскедастичность. Для построения модели распределенного лага была проведена оценка корреляционной и автокорреляционной взаимосвязи. Нейронная сеть строилась с использованием трех скрытых слоев и была обучена на 1000 итераций.

В результате построения ADL модели была полученная следующая система взаимосвязанных уравнений с соответствующими параметрами:

$$\begin{cases} y_t^1 = f(0,98y_{t-1}^1 + 0,23x_{t-5}^1 + 0,45y_{t-1}^2 - 0,87x_{t-1}^2 + 0,69y_{t-1}^3 + 0,85x_{t-1}^4 - 0,25y_{t-1}^3 + 0,11x_t^5); \\ y_t^2 = f(0,66y_t^1 + 0,39y_{t-1}^3 - 0,02x_t^6 + 0,12y_{t-1}^1); \\ y_t^3 = f(0,79x_{t-1}^3 + 0,58x_t^8 + 0,36x_t^5 + 0,55x_t^7 + 0,88x_t^6 - 0,24y_{t-1}^3 + 0,67x_{t-5}^9). \end{cases}$$

По полученной модели был построен прогноз на 2019 и 2020 годы. Качество прогнозирования оценивалось путем сравнения прогностических результатов и фактических на 2019 год на основе RSME ошибки. Полученный результат составил 13,22. Учитывая, что RMSE отражает абсолютную оценку в виде отклонения предсказанных значений от фактических, то очевидно, что бли-



зость значения ошибки к нулю говорит о высокой точности модели. В классической статистической оценке значение ошибки на один порядок меньше исходных данных говорит о допустимой точности, применительно к линейным моделям. В данном случае масштаб ошибки на пять порядков меньше масштаба анализируемых данных, т.е. при среднем значении показателя ВВП в сотни тысяч трлн. рублей величина ошибки составляет чуть более десяти трлн., что составляет 0,01% и явно говорит о высоком качестве полученных прогностических значений.

Нейросетевая модель после процесса обучения определяла взаимосвязи в автоматическом режиме, но результаты получились схожими с моделью ADL. Результаты распределения весов также были сведены в систему:

$$\begin{cases} y_t^1 = f(0,96y_{t-1}^1 + 0,45x_{t-5}^7 + 0,40y_{t-1}^2 - 0,88x_{t-1}^2 + 0,66y_{t-1}^3 + 0,89x_{t-1}^4 - 0,25y_{t-1}^3 - 0,11x_t^8); \\ y_t^2 = f(0,506y_t^1 + 0,33y_{t-1}^3 - 0,08x_t^6 + 0,12y_{t-1}^1); \\ y_t^3 = f(0,29x_{t-1}^4 + 0,59x_t^8 + 0,41x_t^5 + 0,75x_t^8 + 0,80x_t^6 - 0,25y_{t-1}^3 + 0,66x_{t-5}^9). \end{cases}$$

Полученные прогностические значения на примере ВВП РФ приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение прогностических и фактически значений ВВП, трлн. рублей
Table 1 Comparison of forecast and actual values of GDP, trillion rubles

Фактические значения	ADL	Нейронная сеть
109608,3	109798,4	109872,2
107315,3	106775,6	107297

Качество прогноза составило 11,08, что на 26% выше результатов ADL модели. В целом схожесть результатов подтверждает сравнимую точность предлагаемых моделей, а стало быть говорит о возможности применения обеих из них для решения задачи прогнозирования устойчивого развития.

Сравнить результативность полученной модели с другими в настоящее время не представляется возможным, так как реально просчитанных комплексных моделей устойчивого развития арктических территорий на данный момент нет. Предлагаемые авторами Ивановым Е.С. и Шелковым В. модели развития территорий наиболее близки к цели текущего исследования, но отражают лишь часть сфер (в большей степени упор делается на экологическую и экономическую сферы), влияющих на устойчивость и не имеют возможности к масштабированию до уровня арктической зоны [25, 26]. Чернова Е.С. формирует более широкую эконометрическую модель на уровне отдельного региона (Кемеровская область), но результатом является выведение структурной формы, без дальнейшей количественной оценки. Все рассматриваемые модели носят концептуальный характер и не имеют численной оценки, что позволяет судить о результатах исследования безотносительно и опираться исключительно на величину полученной RMSE.

Также стоит отметить, что модель на основе нейронной сети, предлагаемая автором статьи, является собой предпочтительный вариант математического моделирования устойчивого развития, особенно в сравнении с ADL-моделью, в особенности за счет потенциала возможностей и охвата оцениваемых факторов. Учитывая успешные способы внедрения моделей нейронных сетей в технических отраслях, можно с уверенностью сказать, что применение такого подхода для оценки территориального развития будет вполне уместным и актуальным, что подтверждает низкая ошибка прогнозирования и, как следствие, высокая точность.

Заключение

Описанный в «Стратегии развития арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности» подход возможен именно в форме устойчивого развития, реализация которого должна складываться из следующих этапов:

1. определение основных факторов устойчивого развития для отдельных регионов;
2. классификация определенных факторов по трем основным группам: экономика, социум и экология, с целью дальнейшего формирования блоков модели;
3. моделирование и анализ полученных расчётных данных;
4. принятие управленческих решений по корректировке курса и методов реализации стратегии развития.

В ходе проводимого исследований были решены все поставленные цели и задачи:

- предложено два типа экономико-математических моделей для оценки и прогнозирования устойчивого развития;
- приведен качественный сравнительный анализ полученных прогностических результатов;
- построены количественные модели на основе данных по Мурманской области и проведена количественная оценка качества полученных прогностических результатов;
- описан выбор предпочтительной модели для прогнозирования устойчивого развития арктических регионов.

Полученные в ходе исследования результаты отражают новизну взгляда на возможные методики прогнозирования экономического развития и формирование прогностических моделей. Особенно явно это прослеживается в области применения методики к большим данным, что наиболее актуально на данный момент.

Проведенное исследование подтверждает необходимость формирования моделей устойчивого развития территорий, а также дает основу для дальнейшего уточнения рассматриваемых моделей с целью повышения их точности и расширения сферы применения, масштабирования.

Направление дальнейших исследований стоит связать с формированием более глобальных кластерных моделей, описывающих не только отдельные регионы, но и всю арктическую зону в целом. Еще более перспективным будет подход с включением в кумулятивную модель всех регионов Российской Федерации, с выверенным подбором факторов для каждого из них. Оценка возможного многомерного влияния факторов позволит получить более полную картину экономической системы РФ в целом, что, несомненно, приведет к возможности совершения точечных изменений и своевременных управленческих решений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Антипов С.К. «Разработка модели инновационной экономики в арктических регионах России (на примере Ямало-Ненецкого автономного округа)», Север и рынок: формирование экономического порядка. 2019. № 1 (63). С. 99–109.
2. Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации за 2016 год / под ред. С.Н. Бобылева, Л.М. Григорьева. — М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2016. 298 с.
3. Baker S. 2006. Sustainable Development. New York, NY: Routledge.
4. Хайдуков Д.С., Тасалов К.А. Основы обеспечения устойчивого развития городской агломерации // Материалы XIV Международной конференции МГУ «Государственное управление в XXI веке», — М.: «Университетская книга», 2017. С. 783–789. ISBN: 978-5-91304-707-6
5. Хайдуков Д.С., Тасалов К.А. Реализация концепции устойчивого развития в региональном управлении // Сборник материалов I научно-практической конференции «Эффективное управление», МГУ. — М.: Издательство «Полиграф сервис», 2015, 206 с. ISBN: 978-5-86388-218-5.



6. **Перелет Р.А.** Выявление показателей устойчивого развития // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. ВИНТИ — 1995. — № 6.
7. **Гущин А.Н.** Теория устойчивого развития города: учебное пособие / А.Н. Гущин. — 2-е изд. — Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2015. — 232 с.
8. **Антипов С.К., Журавлева А.А.** «Возможные подходы развития арктических территорий с применением нейросетевой модели», В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли. В 3-х частях. 2019. С. 455–458.
9. **Антипов С.К.** Разработка модели арктического пространства с использованием нейросетевого подхода В книге: Арктические горизонты 21 века. Санкт-Петербург, 2018. С. 164–172.
10. **Didenko N.I., Romashkina E.S.** Assessment of the Influence of the Extraction of Energy Resources on the Environment. 2018 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 180 (1), 012014.
11. **Didenko N., Skripnuk D., Mirolubova O., Radion M.** Analysis of rural areas development of the region using the ADL-model. 2017 Research for Rural Development. 2, p. 142–147.
12. **Romashkina G.F., Didenko N.I., Skripnuk D.F.** 2017 Socioeconomic modernization of Russia and its Arctic regions Studies on Russian Economic Development 28 (1), pp. 22–30.
13. **Drucker P.F.** Innovation and Entrepreneurship/ edited by K.S. Golovinsky. — Moscow; SPb; Kiev: Williams, 2007. — 423 p. — ISBN: 5-84591-195-7.
14. **Иволга А.Г., Чаплицкая А.А.** Обоснование подхода к понятию устойчивого развития экономики региона, Биоресурсы и природопользование, № 1-2, 2014.
15. **Васенко В.Е.** Определение уровня устойчивого развития региона на основе методики оценки устойчивого развития, Региональная экономика: теория и практика, № 1, 2013.
16. **Асланян А.А., Карпенко Д.В., Кудряшова Е.П.** «Стратегии развития отраслей экономики как фактор устойчивого развития», №12-1, 2016, с. 222–227.
17. **Ozkan R., Schott S.** Sustainable Development and Capabilities for the Polar Region // Social Indicators Research. — 2013 — Vol. 114 — Pp. 1259–1283.
18. **Бердицкий А.И.** Устойчивое развитие Арктической зоны Российской Федерации и климатические аспекты экологической и гидрометеорологической безопасности 2018 Энергетическая политика, № 4, с. 3–10.
19. **Зайков К.С., Кондратов Н.А., Кудряшова Е.В., Липина С.А., Чистобаев А.И.** Сценарии развития арктического региона (2020–2035 гг.) // Арктика и Север. 2019. № 35. С. 5–24. DOI: 10.17238/issn2221-2698.2019.35.5
20. **Гутман С.С., Басова А.А.** Индикаторы устойчивого развития арктической зоны Российской Федерации: проблемы выбора и измерения Арктика: экология и экономика, — 2017, № 4 (28), с. 32–48.
21. **Едисеева Т.О.** Особенности устойчивого развития арктических регионов Экономика и бизнес: теория и практика, — 2020, № (63) 5-1, с. 173–176.
22. **Сахаров А.Г., Андропова И.В.** Устойчивое развитие арктических территорий Канады: цели и результаты // Вестник международных организаций, 2020, Т. 15 № 4 С. 140–162. DOI: 10.17323/1996-7845-2020-04-07
23. **Zeijl-Rozema A., Ferraguto L., Caratti P.** Comparing region-specific sustainability assessments through indicator systems: Feasible or not? // Ecological Economics [Elsevier]. — 2011 — 70 (3). — Pp. 475–486.
24. **Лебедев Б.М.** «Устойчивое развитие регионов требует новой модели развития страны», В сборнике: Актуальные проблемы менеджмента: повышение стратегической устойчивости регионов и предприятий. Материалы международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 197–202.
25. **Иванов Е.С.** «В поисках успешной модели устойчивого развития сельских территорий как вектора социально-экономического развития» Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2017. № 4-2 (38). С. 53–58.
26. **Шевлоков В., Казанчева Х.** «Концепция устойчивого регионального развития и прогнозная модель социально-экономического развития аграрно-промышленного региона» Международный сельскохозяйственный журнал. 2008. № 6. С. 31–34.
27. **Чернова Е.С.** Построение эконометрической модели устойчивого развития региона (на примере Кемеровской области). Проблемы. Поиск. Решения, — 2012, № 21 (252), с. 60–64.

REFERENCES

1. **S.K. Antipov**, «Razrabotka modeli innovatsionnoy ekonomiki v arkticheskikh regionakh rossii (na primere yamalo-nenetskogo avtonomnogo okruga)», Sever i rynek: formirovaniye ekonomicheskogo porjadka. 2019. № 1 (63). S. 99–109.
2. Doklad o chelovecheskom razvitii v Rossiyskoy Federatsii za 2016 god / pod red. S.N. Bobyleva, L.M. Grigoryeva. — M.: Analiticheskiy tsentr pri Pravitelstve Rossiyskoy Federatsii, 2016. 298 s.
3. **S. Baker**, 2006. Sustainable Development. New York, NY: Routledge.
4. **D.S. Khaydukov, K.A. Tasalov**, Osnovy obespecheniya ustoychivogo razvitiya gorodskoy aglomeratsii // Materialy XIV Mezhdunarodnoy konferentsii MGU «Gosudarstvennoye upravleniye v XXI veke», — M.: «Universitetskaya kniga», 2017. S. 783–789. ISBN: 978-5-91304-707-6.
5. **D.S. Khaydukov, K.A. Tasalov**, Realizatsiya kontseptsii ustoychivogo razvitiya v regionalnom upravlenii // Sbornik materialov I nauchno-prakticheskoy konferentsii «Effektivnoye upravleniye», MGU. — M.: Izdatelstvo «Poligraf servis», 2015, 206 c. ISBN: 978-5-86388-218-5.
6. **R.A. Perelet**, Vyyavleniye pokazateley ustoychivogo razvitiya // Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnykh resursov. VINITI — 1995. — № 6.
7. **A.N. Gushchin**, Teoriya ustoychivogo razvitiya goroda: uchebnoye posobiye / A.N. Gushchin. — 2-ye izd. — Moskva; Berlin: Direkt-Media, 2015. — 232 s.
8. **S.K. Antipov, A.A. Zhuravleva**, «Vozmozhnyye podkhody razvitiya arkticheskikh territoriy s primeneniym neyrosetevoy modeli», V sbornike: Nedelya nauki SPbPU. Materialy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Institut promyshlennogo menedzhmenta, ekonomiki i trgovli. V 3-kh chastyakh. 2019. S. 455–458.
9. **S.K. Antipov**, Razrabotka modeli arkticheskogo prostranstva s ispolzovaniym neyrosetevogo podkhoda V knige: Arkticheskiye gorizonty 21 veka. Sankt-Peterburg, 2018. S. 164–172.
10. **N.I. Didenko, E.S. Romashkina**, Assessment of the Influence of the Extraction of Energy Resources on the Environment. 2018 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 180 (1), 012014.
11. **N. Didenko, D. Skripnuk, O. Mirolyubova, M. Radion**, Analysis of rural areas development of the region using the ADL-model. 2017 Research for Rural Development. 2, p. 142–147.
12. **G.F. Romashkina, N.I. Didenko, D.F. Skripnuk**, 2017 Socioeconomic modernization of Russia and its Arctic regions Studies on Russian Economic Development 28 (1) pp. 22–30.
13. **P.F. Drucker**, Innovation and Entrepreneurship/ edited by K.S. Golovinsky. — Moscow; SPb; Kiev: Williams, 2007. — 423 p. — ISBN: 5-84591-195-7.
14. **A.G. Ivolga, A.A. Chaplitskaya**, Obosnovaniye podkhoda k ponyatiyu ustoychivogo razvitiya ekonomiki regiona, Bioresursy i prirodopolzovaniye, №1-2, 2014
15. **V.Ye. Vasenko**, Opredeleniye urovnya ustoychivogo razvitiya regiona na osnove metodiki otsenki ustoychivogo razvitiya, Regionalnaya ekonomika: teoriya i praktika, № 1, 2013.
16. **A.A. Aslanyan, D.V. Karpenko, Ye.P. Kudryashova**, «Strategii razvitiya otrasley ekonomiki kak faktor ustoychivogo razvitiya», № 12-1, 2016, s. 222–227.
17. **R. Ozkan, S. Schott**, Sustainable Development and Capabilities for the Polar Region // Social Indicators Research. — 2013 — Vol. 114 — R. 1259–1283.
18. **A.I. Berditskiy**, Ustoychivoye razvitiye Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii i klimaticheskiye aspekty ekologicheskoy i gidrometeorologicheskoy bezopasnosti 2018 Energeticheskaya politika, № 4, s. 3–10.
19. **K.S. Zaykov, N.A. Kondratov, N.A. Kudryashova, S.A. Lipina, A.I. Chistobayev**, Stsenarii razvitiya arkticheskogo regiona (2020–2035 gg.) // Arktika i Sever. 2019. № 35. S. 5–24. DOI: 10.17238/issn2221-2698.2019.35.5
20. **S.S. Gutman, A.A. Basova**, Indikatory ustoychivogo razvitiya arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii: problemy vybora i izmereniya Arktika: ekologiya i ekonomika, — 2017, № 4 (28), s. 32–48.
21. **T.O. Yediseyeva**, Osobennosti ustoychivogo razvitiya arkticheskikh regionov Ekonomika i biznes: teoriya i praktika, — 2020, № (63) 5-1, s. 173–176.
22. **A.G. Sakharov, I.V. Andronova**, Ustoychivoye razvitiye arkticheskikh territoriy Kanady: tseli i rezultaty // Vestnik mezhdunarodnykh organizatsiy, 2020, T. 15, № 4. S. 140–162. DOI: 10.17323/1996-7845-2020-04-07
23. **A. Zeijl-Rozema, L. Ferraguto, P. Caratti**, Comparing region-specific sustainability assessments through indicator systems: Feasible or not? // Ecological Economics [Elsevier]. — 2011 — 70 (3). — R. 475–486.



24. **В.М. Lebedev**, «Ustoychivoye razvitiye regionov trebuyet novoy modeli razvitiya strany», V sbornike: Aktualnyye problemy menedzhmenta: povysheniye strategicheskoy ustoychivosti regionov i predpriyatiy. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Sankt-Peterburg, 2021. S. 197–202.

25. **Ye.S. Ivanov**, «V poiskakh uspezhnoy modeli ustoychivogo razvitiya selskikh territoriy kak vektora sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya» Konkurentosposobnost v globalnom mire: ekonomika, nauka, tekhnologii. 2017. № 4-2 (38). S. 53–58.

26. **V. Shevlov, X. Kazancheva**, «Kontseptsiya ustoychivogo regionalnogo razvitiya i prognoznaya model sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya agrarno-promyshlennogo regiona» Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal. 2008. № 6. S. 31–34.

27. **Ye.S. Chernova**, Postroyeniye ekonometricheskoy modeli ustoychivogo razvitiya regiona (na primere Kemerovskoy oblasti). Problemy. Poisk. Resheniya, – 2012, № 21 (252). s. 60–64.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHOR

АНТИПОВ Сергей Константинович

E-mail: skantipov@gmail.com

Sergey K. ANTIPOV

E-mail: skantipov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7593-9483>

Поступила: 07.11.2021; Одобрена: 15.12.2022; Принята: 16.12.2022.

Submitted: 07.11.2021; Approved: 15.12.2022; Accepted: 16.12.2022.