

УДК 330.4  
JEL: L1, L16, L4, L71, L9, M2, N40

DOI: 10.18184/2079-4665.2015.6.4.245.251

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОСТРОЕНИЯ ОПИСАТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ АРКТИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА на примере Ненецкого автономного округа \*

Сергей Константинович Антипов <sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29

<sup>1</sup> Ассистент кафедры мировой и региональной экономики  
E-mail: skantipov@gmail.com

Поступила в редакцию: 21.11.2015      Одобрена: 28.11.2015

\* Статья подготовлена по результатам исследования, выполняемого при финансовой поддержке гранта Российского Научного Фонда (проект 14-38-00009) «Программно-целевое управление комплексным развитием Арктической зоны РФ» (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого). Автор благодарит СПбПУ и РНФ за указанную финансовую поддержку, благодаря которой были получены все основные результаты исследования.

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются возможные взаимодействия регионов Арктической зоны. Описываются возможные варианты моделей нейронных сетей, которые могут быть использованы для составления прогноза развития Арктической зоны с учетом взаимодействия отдельных регионов. Разбирается вариант модели для одного участка Арктической системы на примере Ненецкого автономного округа. Приводится расчет коэффициентов предлагаемой модели методом нейросетевого моделирования.

**Ключевые слова:** Арктика, субъекты РФ, нейронные сети, персептрон, синапс.

**Для ссылки:** Антипов С. К. Применение методов нейросетевого моделирования с целью построения описательной модели Арктического пространства на примере Ненецкого автономного округа // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2015. Т. 6. № 4. С. 245–251. DOI: 10.18184/2079-4665.2015.6.4.245.251

**Введение.** В настоящее время развитие исследований и освоение Арктики является важнейшей задачей для Российской Федерации и важность арктической зоны сложно переоценить, причем не только в виду обилия минеральных ресурсов и углеводородов, а, скорее, в виду геополитических целей. Занимая примерно шестую часть поверхности Земли и формально не имеющая принадлежность к каким-либо государствам, Арктика не вызывает интереса разве что у стран ниже экватора.

Освоение Арктики является одной из важнейших задач для Российской Федерации. Все же не только по причине отстаивания национальных интересов и национальной безопасности освоение Арктики становится очень необходимым, но и по причине возможных экономических интересов. Как было сказано выше обширные запасы минеральных ресурсов и углеводородов, находящиеся в Арктической зоне могут послужить огромным плюсом в экономике, однако их освоение может быть осуществимо только при помощи новых технологий и инновационной техники. Это обуславливается крайне непростыми климатическими условиями и географическим положением. Большую часть года в Арктике наблюдаются отрицательные темпе-

ратуры, зимой порой доходя до отметок в  $-50^{\circ}$  и  $-60^{\circ}$ . Безусловно, это накладывает определенные требования и к технологиям и к технике, основная задача которой – безотказность, так как отказы при таких суровых климатических условиях могут привести к непоправимым последствиям [1].

Планомерное и рентабельное развитие возможно только в случае формирования грамотной стратегии и построения множества прогнозов, способных учесть различные особенности Арктической зоны и максимально возможное внешних факторов [2, 3]. Совершенно очевидно, что учесть все случайные воздействия невозможно, но построить максимально правдоподобную модель все же можно. Для оценки развития можно выбрать или разработать разные экономико-математические модели, однако, наиболее выгодно использовать модели, построенные на основе нейронных сетей. Такой выбор обуславливается достаточной простотой самой модели при широких возможностях и большом прогностическом потенциале. Так же к плюсам такого рода моделей можно отнести возможность обучения, что позволит корректировать модель в процессе ее построения и функционирования, что приведет к достижению наиболее точных результатов [4].

**Понятие нейросетевого моделирования.** Нейронные сети предпочтительно использовать там, где имеется очень много входных данных, в которых скрыты не выявленные закономерности. Целесообразно использовать нейронные методы в задачах с неполной или частично неявной информацией. Для описания сложной экономической взаимосвязи Арктических регионов резонаннее всего использовать модели, которые напрямую имитируют поведение отдельных регионов Арктической зоны. Чтобы отразить суть нейронного моделирования и рассмотреть возможности его реального применения в Арктической зоне необходимо понять основной смысл такого моделирования и принципы построения моделей такого плана, а так же представлять как действуют взаимосвязи нейронов. Для этого рассмотрим общее понятие нейронных систем и нейрона. Придя в точные науки из области анатомии, нейронные сети практически не претерпели изменений, что является одним из подтверждений филигранности природного созидания. Основная идея нейронных сетей такова: нейрон получает входные сигналы (это реальные исходные данные исходные, коими могут являться в том числе и выходные данные других нейронов сети) через несколько входных каналов. Каждый входной сигнал проходит через соединение, имеющее определённую интенсивность или вес. С каждым нейроном связано определенное пороговое значение. Вычисляется взвешенная сумма входов, из нее вычитается пороговое значение, и в результате получается величина активации нейрона, т.е. значимость. Далее сигнал активации преобразуется с помощью функции активации (или передаточной функции), и в результате получается выходной сигнал нейрона. Общий вид такой модели показан на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид модели нейронной сети

Говоря о математических основах, заметим, что нейрон осуществляет отображение  $R_n \rightarrow R$  в соответствии с соотношением для его выхода:

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

где  $x_i$  – входы нейрона;  $w_i$  – весовые коэффициенты синаптических связей нейрона. При этом  $x_0$ , а  $w_0$  – пороговый уровень нейрона.  $F(x)$  – «функция активации» нелинейный преобразователь сигнала.

Нейронная функция активации является ступенчатой функцией триггерного типа: выходнейрона-

равен нулю, если вход отрицательный, и единице, если вход нулевой или положительный. В действительности пороговые функции достаточно точно описывают суть взаимосвязи между нейронами. Веса такой функции могут быть отрицательными, – это значит, что воздействие оказывает на нейрон не возбуждающее, а тормозящее воздействие. Что в применении к взаимосвязи регионов может дать ответ о развивающихся отраслях и тормозящих это развитие [4].

Основа нейронной сети – это архитектура связей и весовые коэффициенты, соответствующие этим связям. Архитектура связей фактически определяет, каким образом из отдельных нейронов сформирована сеть. Нет особых требований к формированию архитектуры сети, однако есть несколько стандартных архитектур, из которых на практике особенно удобно реализовывать:

- сети прямого распространения, в которых графы не имеют петель;
- рекуррентные сети, или сети с обратными связями.

Простейшая сеть имеет структуру прямой передачи данных: данные проходят от входов через скрытые элементы и в конце концов приходят на выходные элементы. Такая структура имеет устойчивое поведение. Это простейший вид нейронной сети. Можно использовать более сложный подход и рассмотреть сеть рекуррентную (т.е. содержащую связи, ведущие назад от более дальних к более ближним нейронам), то она может быть неустойчива и иметь очень сложную динамику поведения. Типичный пример сети с прямой передачей сигнала показан на рис. 2.

Нейроны регулярным образом организованы в слои. Входной слой служит просто для ввода значений входных переменных. Каждый из скрытых и выходных нейронов соединен со всеми элементами предыдущего слоя.

При построении такой сети во входные элементы подаются значения входных переменных

(исходные данные), затем последовательно обрабатывают нейроны промежуточных и выходного слоев. Каждый из них вычисляет своё значение активации, то есть определенную функцию или процесс. Затем значения активации преобразуются с помощью рассчитанной или заданной функции активации, и в результате получается выход нейрона. После того, как вся сеть отработает полученные входные данные, выходные значения элементов выходного слоя принимаются за выход всей сети в целом.

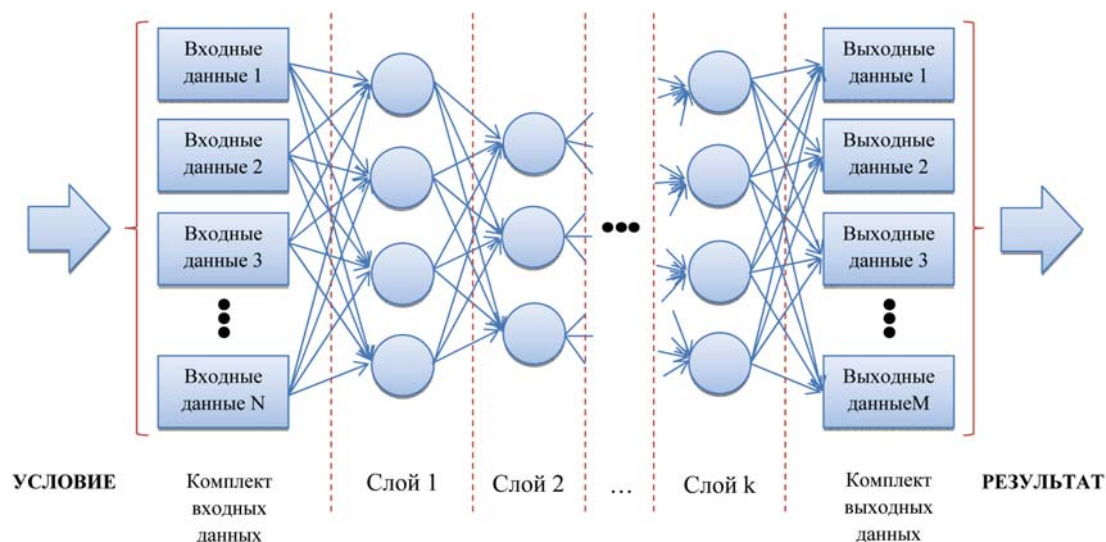


Рис. 2. Сеть с прямой передачей сигнала

### Нейросетевые модели экономического развития.

Построение нейронных сетей очень удобно и может быть продуктивно использовано для прогнозирования взаимодействия регионов как Арктической, так и приарктических зон. Это обуславливается тем, что при построении таких моделей можно учесть степени важности и силы влияния каждого отдельного региона, указав каждому из них соответствующий вес в модели. Так же можно рассматривать отдельные слои, например по отдельным отраслям, либо же всю сеть в целом, которая будет образована как сумма всех слоев отраслей.

Однако для того чтобы выстроить адекватную нейронную сеть необходимо точно знать, что между известными входными значениями и неизвестными выходами имеется связь. Эта связь может быть отражена неявно или же поэтапно, но она должна существовать. В противном случае построение такой модели будет совершенно нецелесообразно, а в большинстве случаев и вовсе невозможно.

Еще одна важная особенность нейронных сетей состоит в том, что зависимость между входом и выходом находится в процессе обучения сети. Для обучения нейронных сетей применяются алгоритмы двух типов: управляемое и не управляемое. Это большое преимущество, которое позволит модернизировать и корректировать нейронную сеть, с учетом изменения входных данных.

Для управляемого обучения сети необходимо подготавливать набор обучающих данных. Такие данные представляют собой примеры входных данных и соответствующих им выходов. Сеть учится устанавливать связь между входными и выходными данными, а так же между всеми уровнями. Затем нейронная сеть обучается с помощью того

или иного алгоритма управляемого обучения, при котором имеющиеся данные используются для корректировки весов и пороговых значений сети таким образом, чтобы минимизировать ошибку прогноза на обучающем множестве. Если сеть обучена хорошо, она приобретает способность моделировать неизвестную функцию, связывающую значения входных и выходных переменных, и впоследствии такую сеть можно использовать для прогнозирования в ситуации, когда выходные значения неизвестны [5].

В разрезе тематики исследования необходимо правильно построить такую нейронную сеть. Важно понять, что будет являться слоями нейронной сети, а что будет являться связями.

**Концепция нейросетевой модели Арктического развития.** Наиболее адекватный вариант состоит в построении многоуровневой нейронной сети. Глобально сеть должна содержать несколько слоев, имеющих взаимосвязи. Отдельно взятые слои – регионы Арктической зоны. Подслоями будут являться отдельно взятые субъекты. Связями в таком случае будут выступать межотраслевые потоки ресурсов, а так же финансовые потоки. При таком раскладе можно будет анализировать как отдельно взятый субъект, так и регион, или же всю зону в целом. Так же имеет смысл внести слои, содержащие информацию о приарктических зонах, и связи, указывающие на взаимодействие приарктических зон с Арктическими. Концептуальная модель такой нейронной сети отражена на рис. 3.

В предлагаемой модели в качестве слоев 1 и 2 выбраны зоны Арктическая и приарктическая (рис. 4). Каждый слой делится на подслои содержащие информацию по регионам и субъектам указанных зон.

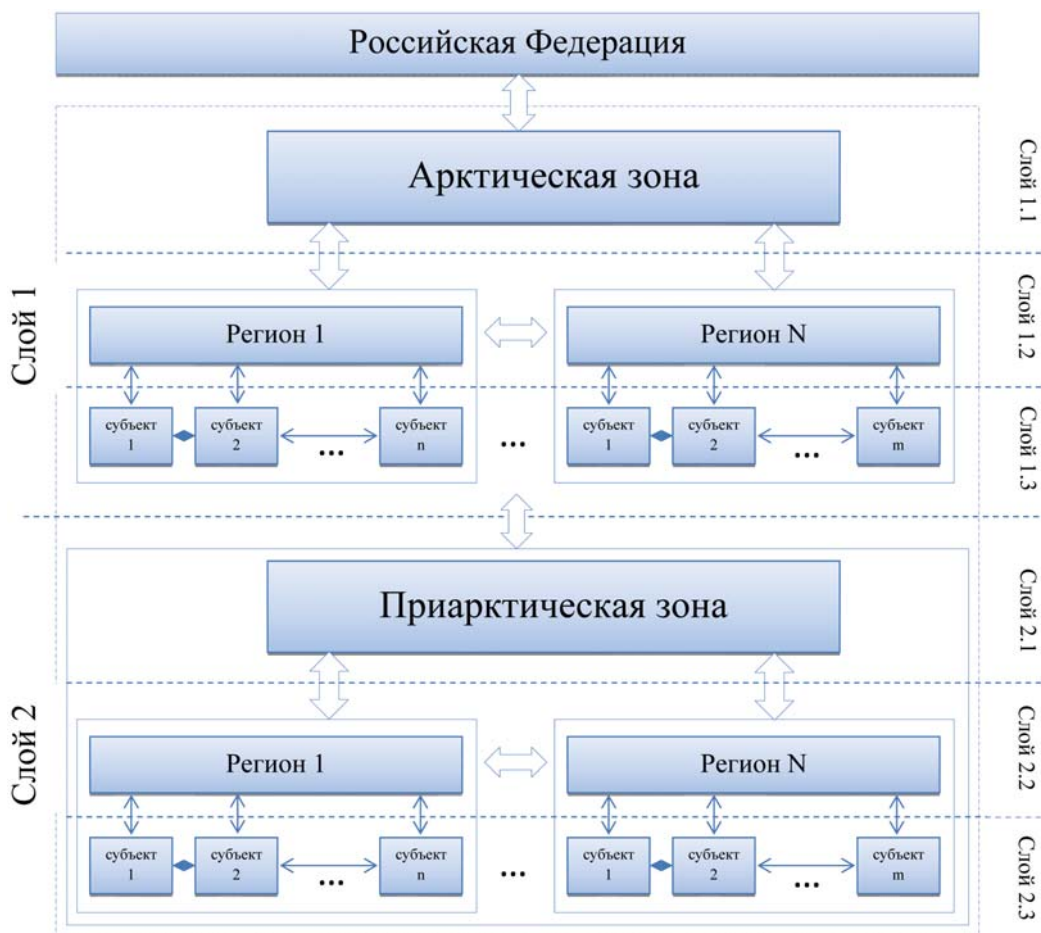


Рис. 3. Модель нейронной сети для Арктической зоны

Стрелки отражают потоки взаимодействия (информационные, материальные, натуральные и т.д.). Оба указанных слоя выступают на равных по отношению к конечному основному объекту – РФ. Такая модель позволяет оценить все возможные взаимодействия в различных сочетаниях и перестановках.

**Корректировка нейросетевых моделей.** Построив такую модель можно будет осуществить достаточно точное прогнозирование, на основе которого будет разработана конечная стратегия развития. Но на самом деле создать одну стратегию на долгосрочный период в условиях нестабильной экономики практически невозможно, да и сама модель придется корректировать в виду изменения внешних факторов и различных воздействий. Поэтому целесообразнее всего создать рекуррентную нейросетевую модель, в основе которой лежит предложение, изложенное на рис. 2, однако с некоторым коррекционным дополнением (рис. 5)

Учитывая корректировки на каждом этапе существования нейронной сети можно всегда иметь акту-



Рис. 4. Выбор слоев для нейросетевой модели





Рис. 5. Вариант построения рекуррентной нейронной сети

альные результаты, способные служить основой для формирования итерационной стратегии развития Арктической зоны.

**Построение отдельного участка нейросетевой модели** на примере Ненецкого автономного округа. В качестве основы для построения нейросетевой модели по региону были выбраны ряд показате-

лей, являющихся зависимыми, а так же ряд факторов [6]. В результате построения выбранной модели необходимо получить ряд передаточных коэффициентов, указывающих силу влияния соответствующих факторов, на результирующие зависимые показатели. Набор исходных данных представлен в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для модели

Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
0,00283485	0,00000000	241466,40000000	62,96000000	0,00029666	3568,50
0,00247961	0,00000000	257468,40000000	55,87000000	0,00031996	4460,20
0,00298987	0,00000000	326414,40000000	65,30000000	0,00025802	5865,70
0,00349873	0,00000000	455128,80000000	144,66000000	0,00037451	7613,30
0,00269772	0,00325264	585178,80000000	141,40000000	0,00000000	8828,40
0,00406714	0,01417382	585026,40000000	176,29700000	0,00000000	9921,30
0,00387203	0,01167308	627241,20000000	282,12000000	0,00000000	10980,10
0,00364448	0,00664903	655587,72000000	158,10000000	0,00003702	12854,60
0,00314599	0,00332867	747871,20000000	69,31000000	0,00008038	15086,50
0,00318016	0,00261302	795312,00000000	72,69000000	0,00000000	16849,60

Окончание таблицы 1

Исходные данные для модели

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
6,80	12,75	36,30	4586,00	99,00	0,00000003	0,00000007	1453,20	105,10
4,30	13,18	37,20	3901,00	99,45	0,00000001	0,00000007	1455,60	114,60
4,53	15,17	38,10	48,00	104,40	0,00000000	0,00000005	1458,00	128,30
4,76	15,77	37,40	1436,70	107,65	0,00000000	0,00000003	1460,40	143,60
4,99	18,54	37,80	113,00	100,05	0,00000000	0,00000004	1462,80	152,80
556935,60	27,96	37,60	259613,00	106,90	0,00000000	0,00000002	1465,20	173,80
14251,50	41,48	39,50	1484,90	102,10	0,00000000	0,00000002	1467,60	198,30
54950,50	30,51	42,80	5629,00	104,95	0,00000000	0,00000001	1470,00	207,90
95649,50	40,15	42,40	1457401,80	92,90	0,00000000	0,00000002	1472,40	228,60
136348,50	37,21	46,40	20229,20	97,70	0,00000000	0,00000002	1586,50	242,20

В указанных исходных данных фигурируют 6 зависимых переменных:

1.  $Y^1$  – доля ВРП региона в суммарном ВРП России
2.  $Y^2$  – доля экспорта региона в суммарном экспорте России
3.  $Y^3$  – уровень доходов населения региона
4.  $Y^4$  – выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников
5.  $Y^5$  – доля отгруженной продукции региона в суммарной отгруженной продукции России
6.  $Y^6$  – уровень развития инфраструктурных отраслей региона

И 9 влияющих:

1.  $X^1$  – выплаты средств за импорт технологий
2.  $X^2$  – производительность труда
3.  $X^3$  – обеспеченность врачами на 10 000 человек
4.  $X^4$  – затраты организаций на технологические инновации
5.  $X^5$  – темп роста производительности труда
6.  $X^6$  – уровень развития обрабатывающих производств
7.  $X^7$  – доля социальных инфраструктурных отраслей в ВРП региона
8.  $X^8$  – энергопотребление
9.  $X^9$  – число собственных легковых автомобилей на 1000 человек населения

Общая взаимосвязь показателей представлена в системе уравнений (1).

$$\begin{cases} Y^1 = f(X^1, X^2, X^3, X^4, X^5, X^6, X^7, X^8, X^9) \\ Y^2 = f(X^1, X^2, X^3, X^4, X^5, X^6, X^7, X^8, X^9) \\ Y^3 = f(X^1, X^2, X^3, X^4, X^5, X^6, X^7, X^8, X^9) \\ Y^4 = f(X^1, X^2, X^3, X^4, X^5, X^6, X^7, X^8, X^9) \\ Y^5 = f(X^1, X^2, X^3, X^4, X^5, X^6, X^7, X^8, X^9) \\ Y^6 = f(X^1, X^2, X^3, X^4, X^5, X^6, X^7, X^8, X^9) \end{cases} \quad (1)$$

Каждый отдельный фактор  $X$  входит в систему с конкретным коэффициентом, весом, обуславливающим силу влияния этого фактора на результирующую зависимую переменную  $Y$ .

Расчеты весов были произведены в программном комплексе MathCad 15, разработанным компанией MathSoft.

В результате была получена матрица весов, представленная в табл. 2.

Исходя из полученных данных можно составить уравнения, и в дальнейшем свести их в систему.

Как видно из табл. 2 веса по каждому фактору различны, а так же различны веса по одному фактору, но в разрезе разных зависимых переменных. Из таблицы весов можно сделать два вывода. Во-первых, она отражает степень влияния каждого из факторов на результирующую переменную, во-вторых, позволяет сформировать конечную модель взаимосвязи указанных факторов, что даст возможность четко проанализировать текущую ситуацию, а стало быть и позволит построить грамотный прогноз.

Таблица 2

Матрица факторных весов

	$Y^1$	$Y^2$	$Y^3$	$Y^4$	$Y^5$	$Y^6$
$X^1$	1,746879	7,873165	4,917447	8,997467	1,681875	2,170782
$X^2$	0,129704	7,813959	5,561693	8,468886	0,646382	8,364513
$X^3$	6,611835	0,202033	1,8305	2,553179	0,139164	3,386944
$X^4$	4,819178	4,413892	6,705222	3,358562	7,556688	3,26487
$X^5$	3,905759	5,67217	3,342998	4,306162	5,833003	3,974425
$X^6$	8,469802	1,97058	4,271981	2,661214	5,495468	6,340831
$X^7$	0,698569	7,133702	3,731498	7,944884	3,142491	9,461348
$X^8$	3,495285	1,244545	6,972259	2,272103	5,697501	2,12714
$X^9$	3,672903	8,675192	3,32194	9,712516	6,671651	1,029695

**Заключение.** Стоит отметить, что метод нейронного моделирования является более универсальным, и позволяет строить более сложные системы и функции. Так же нейронная сеть позволит построить модель с учетом некоторых неизвестных значений.

Однако, построение такой модели так же более трудоемко, и должна проводиться серьезная работа на этапе обучения нейронной сети. В случае с полностью известными исходными данными проще применить модель межрегионального баланса.

Так или иначе, но построение модели взаимосвязи Арктических регионов крайне необходимо. Во-первых, это позволит грамотно анализировать имеющееся состояние Арктической зоны, и во-вторых – корректировать взаимосвязи для достижения наиболее оптимального взаимодействия, а так же прогнозирования развития регионов.

#### Список литературы

1. Шагурин С.В. Арктика: новые аспекты экономики и геополитики. СПб.: изд-во Политехнического университета, 2013.
2. «Стратегия развития арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности»: [http://narfu.ru/aan/institut\\_arctic/strategy\\_AZRF\\_2010.pdf](http://narfu.ru/aan/institut_arctic/strategy_AZRF_2010.pdf)
3. Указ президента Российской Федерации о сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации <http://news.kremlin.ru/media/events/files/41d4d8e8206d56fc949d.pdf>
4. Кирдин А.Н., Горбань А.Н., Дунин-Барковский В.Л. Нейроинформатика. Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998.
5. Терехов С. А. Типовые задачи для информационного моделирования с использованием нейронных сетей. – Снежинск, декабрь 2000.
6. Диденко Н.И., Скрипнюк Д.Ф. Влияние социально-экономических факторов на экономический рост Арктических регионов РФ //Арктика XXI век. Гуманитарные науки. 2015. № 1 (4). С. 53–56.
7. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики (перцептрон и теория механизмов мозга). М.: Мир, 1965.

M.I.R. (Modernization. Innovation. Research)  
ISSN 2411-796X (Online)  
ISSN 2079-4665 (Print)

RESEARCH

## APPLICATION OF NEURAL NETWORK MODELING METHODS TO BUILD A DESCRIPTIVE MODEL OF THE ARCTIC SPACE ON EXAMPLE OF THE NENETS AUTONOMOUS DISTRICT

Sergey Antipov

#### Abstract

*This article discusses the possible interaction regions of the Arctic zone. Describes the options for models of neural networks that can be used to project the development of the Arctic zone, taking into account the interaction of individual regions. Parsed version of the model for one area of the Arctic system on example of the Nenets Autonomous district. Calculation of coefficients of the proposed model by means of neural network modeling.*

**Keywords:** the Arctic, the subjects of the Russian Federation, neural networks, perceptrons synapse.

**Correspondence:** Antipov Sergey K., Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (29, Polytechnicheskaya street, St.-Petersburg, 195251), Russian Federation, [skantipov@gmail.com](mailto:skantipov@gmail.com)

**Reference:** Antipov S. K. Application of neural network modeling methods to build a descriptive model of the Arctic space on example of the Nenets autonomous district. M.I.R. (Modernization. Innovation. Research), 2015, vol. 6, no. 4, pp. 245–251. DOI: 10.18184/2079-4665.2015.6.4.245.251

