

# ИННОВАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ: СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ, СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ И АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ (ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ DEA – АНАЛИЗА)<sup>1</sup>

Рослякова Н. А.<sup>2</sup>

(ФГБУН Институт проблем управления  
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

Волков А. Д.<sup>3</sup>, Тишков С. В.<sup>4</sup>

(Институт экономики Карельского научного центра РАН,  
Петрозаводск)

Целью настоящей работы является выявление особенностей структурных взаимосвязей между элементами инновационных систем, актуальных для формирования эффективных моделей управления инновационным развитием арктических регионов. В исследовании применялась методика DEA-анализа (Data Envelopment Analysis). Объектом исследования выбраны регионы, полностью или частично входящие в европейскую часть Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ). В Модели 1 в качестве затратных (входных) параметров рассмотрены «затраты на исследования» и «затраты на технологические инновации», в качестве результирующих (выходных) параметров – «выбросы загрязняющих веществ в воздух», «производительность труда», «количество разработанных технологий», «количество используемых технологий». В Модели 2 затратными (входными) параметрами являются: «затраты на исследования», «затраты на технологические инновации», «выбросы загрязняющих веществ в воздух», в качестве результирующих (выходных) параметров приняты «производительность труда», «количество разработанных технологий», «количество используемых технологий», «объем инновационной продукции». В рамках полученных результатов предложен методический подход выявления типов структурных взаимосвязей между элементами региональной инновационной системы (РИС) с использованием инструментария DEA. Осуществлены оценки эффективности сложившихся в рассматриваемых регионах структур взаимосвязи между элементами РИС. Разработаны сценарии перехода от фактических к оптимальным значениям параметров РИС.

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-00693, <https://rscf.ru/project/23-28-00693/>

<sup>2</sup> Рослякова Наталья Андреевна, к.э.н. ([na@roslyakova24.ru](mailto:na@roslyakova24.ru)).

<sup>3</sup> Волков Александр Дмитриевич, к.э.н. ([kov8vol@gmail.com](mailto:kov8vol@gmail.com)).

<sup>4</sup> Тишков Сергей Вячеславович, к.э.н. ([insteco\\_85@mail.ru](mailto:insteco_85@mail.ru)).

Ключевые слова: региональные инновационные системы (РИС), арктические регионы, ДЕА-анализ, структурные взаимосвязи элементов РИС, сценарии развития РИС.

## **1. Введение**

Последние десятилетия характеризуются ростом интенсивности инновационных процессов в северных и арктических территориях, традиционно относимых к неблагоприятным для ведения хозяйственной деятельности [34]. При этом фокус научного поиска смещается в сторону исследования инновационных систем различных уровней, дифференцируемых в соответствии с пространственными особенностями процессов, обеспечивающих продуцирование и коммерциализацию новшеств [1]. Стратегическая задача развития национальной инновационной системы, опирающейся на региональные возможности инновационного развития, обуславливает необходимость формирования инновационных систем российских регионов. Выявление ресурсов и факторов инновационного развития регионального уровня становится первейшей задачей разработки региональных стратегий инновационного развития.

Особым вызовом является противоречие развития российской Арктики, сформировавшееся в результате схождения трех тенденций. Первая из них заключается в сохраняющемся преобладании сырьевого характера экономик арктических регионов, истощительного для окружающей среды и не обеспечивающего долгосрочное устойчивое развитие местных сообществ. Длительное время Арктика была сырьевой базой обеспечения производств на территории всей страны, а также вносила значимый вклад в формирование экспортных доходов. На протяжении нескольких десятилетий это позволяло формировать финансовую основу экономического роста и относительного социального благополучия страны. Второй значимой тенденцией является то, для самих арктических регионов сохранявшийся инерционный путь развития привел к обострению эколого-экономических и социальных проблем. Что выразилось в росте числа аварий, накоплении экологического ущерба, грозящего разрушением уникальных экосистем [25-26], сохраняющемся оттоке населе-

ния из арктических регионов [31]. Эти аспекты являются яркими признаками неустойчивого характера функционирования региональных социально-экономических систем. Третьим и наименее изученным аспектом является то, что обозначенные проблемные тенденции развития обостряются исключительными по своей силе внешними шоками. Преодоление которых практически невозможно в рамках сложившейся парадигмы развития [32]. Для достижения национального приоритета развития Арктической зоны прежние модели развития потеряли свою актуальность. Новые вызовы требуют формирования подходов в управлении, основанных на принципах интенсификации инновационных процессов в развитии ключевых системообразующих видов экономической деятельности. Данный аспект исключительно важен для обеспечения технологического суверенитета в стратегической перспективе. Это обуславливает актуальность формирования научных основ управления инновационным развитием арктических территорий.

В отличие от российских регионов-лидеров в арктических регионах процесс формирования инновационных систем во всей полноте не завершился. В существующих условиях его необходимо рассматривать в тесной увязке с условиями становления специального экономического режима Арктической Зоны Российской Федерации (АЗРФ), формирующего современную основу для усиления инновационного потенциала Российской Арктики.

В условиях российских арктических регионов, в отличие от европейских, инновационная подсистема экономики продолжает играть второстепенную роль, что отражается и в относительном отставании уровня инновационного развития [23]. Инновационные системы регионов Арктической зоны России характеризуются как значительно дифференцированные по отдельным показателям, в частности – инновационности, инновационной активности, инновационной восприимчивости [18]. Несмотря на существование достаточно обширного спектра исследований, рассматривающих как отдельные аспекты инновационного развития регионов АЗРФ [20], так и интегральные индексы и рейтинги инновационного развития (например, [16]). В то же время неполнота развития инновационных систем требует обратить

особое внимание на характер сложившейся структуры взаимосвязей между элементами инновационной системы. Для решения данной исследовательской задачи наиболее эффективным, но до настоящего времени практически неиспользуемым методом является DEA-анализ (Data Envelopment Analysis) [21; 30]. Целью настоящей работы является выявление особенностей структурных взаимосвязей между элементами инновационных систем, актуальных для формирования эффективных моделей управления инновационным развитием арктических регионов.

Объектом исследования выбраны те регионы, полностью или частично входящие в европейскую часть Арктической зоны Российской Федерации, на территориях которых сосредоточен основной экономический потенциал АЗРФ, локализованы транспортные узлы, порты и инфраструктура Северного морского пути. Данные регионы были и остаются плацдармом освоения Арктики и играют ключевую роль в поддержании контроля над арктическим пространством.

## ***2. Обзор литературы и исследований по теме региональных инновационных систем***

В разных странах сложились разные типы инновационных систем, а, соответственно, и разные механизмы государственного регулирования инновационной деятельности. В то же время все инновационные системы развиваются по общим правилам, законам и закономерностям экономического развития. Изучению фундаментальных основ и механизмов развития инновационных систем в региональной проекции посвящена концепция тройной спирали, разработанная Х. Ицковицем и Л. Лейдесдорфом [24]. Среди работ отечественных ученых следует выделить концепцию О. Г. Голиченко, которая была разработана в 2003 г. [5]. В структуре инновационной системы автор выделяет макроструктуры:

- предпринимательскую среду;
- среду, занимающуюся генерацией и производством знаний;
- среду, которая через свои механизмы занимается передачей знаний;

– государство.

Аспект регионального управления и координации работы региональных инновационных систем проводится государством, что определяет его особую роль в этом процессе.

В науке на данный момент сложилось три основных подхода, характеризующих специфику региональных инновационных систем.

1. В работах С. Меткалфа [27], Д. Норта [28], Л. М. Гохберга [7] и др. исследователей разрабатывается институциональный подход, региональная инновационная система представлена комплексом условий развития и механизмов преодоления институциональных барьеров, с которыми сталкиваются организации, генерирующие научные знания, при реализации передовых технологических решений. В работе [27] было доказано, что благодаря усилиям по созданию институциональных систем по внедрению нововведений, развитие в экономическом плане страны оказались на лидирующих позициях в научно-технологическом развитии, коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности, внедрении и продвижении инновационной продукции на международные рынки.

2. В исследованиях в рамках сетевого подхода (Р. Штернберга [33], М. А. Каменских [10]) региональная инновационная система представлена комплексом взаимоотношений и механизмов усиления коллаборации, направленных на получение эффектов синергии при взаимодействии компаний-потребителей и генераторов инноваций.

3. В исследованиях в рамках комплексного системно-функционального подхода (Х. Отта, П. Ронде [29], Л. А. Горюновой [6] и др.) региональная инновационная система представляется как совокупность структурных элементов и их взаимосвязей. Концептуальным посылом данного подхода является концентрация усилий и ресурсного потенциала различных элементов системы на определенных функциональных свойствах в рамках инновационного процесса и их соорганизация для получения системных эффектов.

В рамках авторского подхода нами предложено следующее определение РИС, от которого мы и отталкиваемся в аналитической работе: региональная инновационная система – это сегмент

национальной инновационной системы, состоящий из комплекса активно взаимодействующих учреждений и организаций различных форм собственности, находящихся на территории региона и осуществляющих процессы создания и распространения новых технологий, а также организационно-правовые условия их хозяйствования, определенные совокупным влиянием государственной научно-технической политики, проводимой на федеральном уровне, и стратегией социально-экономического развития региона.

Следует отметить, что разработка научных основ регулирования инновационного развития арктических территорий, как особого объекта управления, сталкивается с рядом трудностей и противоречий. Арктические территории в качестве объектов стратегических приоритетов были выделены совсем недавно в рамках Стратегии развития арктической зоны РФ, институциональные основы социально-экономического развития арктического макрорегиона находятся на этапе активного формирования [4]. Неопределенность стратегических перспектив и путей их достижения усиливается периодом глобальной геополитической нестабильности и трудностями в определении ресурсного потенциала развития в текущих условиях. Тем не менее, указанные аспекты только повышают актуальность научных исследований в рассматриваемом предметном поле. Переход к новой модели развития требует выработки новых подходов к оценке эффективности перспективных драйверов роста и структурных взаимодействий между элементами инновационных систем регионов.

До этого исследование потенциала экономического развития и оценка эффективности производились преимущественно в рамках проектного подхода, актуального в отношении проектов разработки месторождений полезных ископаемых. Именно поэтому основной фокус оценки эффективности был направлен на операционную эффективность в виде мощности добычи и объема приращения, а также на финансовую эффективность добывающих проектов [13; 15]. Исследование инновационного аспекта данных процессов было оставлено за рамками государственного финансирования и реализовывалось компаниями-операторами проектов исходя из своих возможностей и потреб-

ностей. Можно сказать, что единственным аспектом, через который производилась оценка инновационных, а также социальных эффектов, был показатель экологической нагрузки проекта (например, [12]). В этом отношении следует отметить, что методологические принципы анализа инновационных систем в Арктике разработаны недостаточно. Чаще всего исследователи используют рейтинговые и индексные методы, направленные на ранжирование и свертку доступных показателей, описывающих инновационные системы регионов [2; 9]. Следует заметить, что статистический учет данных по объемам инновационной продукции и связанным показателям объективно затруднен, ввиду отсутствия достаточной проверки и контроля достоверности информации, предоставляемой хозяйствующими субъектами в органы статистики.

Регионы Арктической зоны Российской Федерации характеризуются значительной дифференциацией отдельных составляющих инновационного потенциала, их неравномерной динамикой в пространственном разрезе [8]. Проявлением этих процессов является сокращение доли инновационных работ и услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг в ряде регионов. В большинстве регионов не наблюдается выраженной и стабильной положительной динамики по данному показателю [11]. Это препятствует компенсаторному росту внутреннего инновационного потенциала регионов, позволяющему преодолеть негативные последствия технологической блокады. В то же время, в отношении арктических регионов В. А. Цукерманом отмечается выраженная корреляция между показателями развития инновационной экономики, инвестициями в основной капитал, фондовооруженностью, прямыми иностранными инвестициями, разработанными и используемыми передовыми производственными технологиями [17].

В условиях санкционных ограничений объективно возрастают и экологические риски. При этом для Российской Арктики учет экологических параметров инновационного развития особенно актуален в контексте стратегической задачи снижения антропогенного воздействия на арктические экосистемы, в том числе, за счет экологических инноваций в промышленности (например, [14]).

В то же время, в АЗРФ в крайне малой степени развита инновационная среда в виде технопарков, инкубаторов и т.п. Именно этим обусловлен низкий выпуск инновационной продукции. Соответственно, весь инновационный процесс концентрируется на добывающих предприятиях, которые аккумулируют инновации, но выпускают традиционную продукцию. И здесь у компаний есть определенные ресурсы, которые могут быть направлены на инновации, а могут быть распределены иным образом.

В этом контексте использование инструментария DEA в рамках анализа структурных взаимосвязей между элементами инновационной системы позволяет отойти как от индексного метода, так и от проектного подхода. Использование инструментария DEA в рамках комплексного системно-функционального подхода при оценке эффективности РИС опирается на анализ эффектов, возникающих на предприятиях регионов, внедряющих инновации. Преимуществом использования DEA является его непараметрический характер. В отличие от эконометрических методов оценки производственной функции и кривой производственных возможностей указанный инструментарий позволяет идентифицировать особенности структуры взаимосвязей и параметров эффективности. Ввиду существенной неоднородности как продукции традиционных видов деятельности, так и продукции инновационного характера данный инструментарий позволяет не выдвигать исходные предположения о пропорциях преобразования ресурсов в результаты инновационной деятельности. В качестве примера можно привести работы [19; 22; 35], где была предложена оценка эффективности региональных инновационных систем с применением методики DEA-анализа.

В представленном исследовании применены две модели в рамках методики DEA-анализа. Данная методика позволяет определить структуру внутренних взаимосвязей между входными и выходными параметрами развития региональных инновационных систем, которая изначально предполагается неизвестной. Дополнительным преимуществом предлагаемого инструментария является возможность полноценного учета спектра вариации параметров элементов региональных инновационных

систем посредством оценки спецификации с переменным масштабом VRS (variable returns on scale). Это позволит корректно, с учетом предположения о постоянном масштабе CRS (constant returns to scale), более подходящем для гомогенных групп регионов) определить место каждого региона в пространстве РИС Арктики.

### **3. Материалы и методы**

Применение инструментария DEA предполагает отыскание единиц наблюдения, характеризующихся наибольшей эффективностью (с максимальным значением отношения полученных результатов (выходов) к затраченным ресурсам (входам)). На этой основе осуществляется дальнейшее определение как наиболее эффективных регионов, так и параметров трансформации для менее эффективных регионов. По результатам исследования было построено две модели, отражающие разные наборы затратных и результирующих параметров. Каждая модель может быть ориентирована на вход (input-oriented) и на выход (output-oriented). В первом случае речь идет об экономии затрат при условии, что значения показателей инновационного развития (выходные параметры) либо остаются на текущем уровне, либо увеличиваются в результате осуществленных трансформаций. Во втором случае речь идет о наращивании результирующих параметров (увеличении значений выходных параметров модели) при условии, что осуществленные затраты (входные параметры) остаются либо на текущем уровне, либо уменьшаются. Содержательная сторона рассмотрения разных модификаций модели заключается в учете различных ограничений развития инновационных систем, обуславливающих выбор комбинации приоритетов развития. Данные спецификации отражают две стратегии: экономии затрат и максимизации результатов.

Модель 1 в качестве затратных параметров, обеспечивающих развитие, предполагает использование двух параметров – «затраты на исследования и разработки» и «затраты на технологические инновации». В качестве результирующих параметров рассмотрены «выбросы загрязняющих веществ в воздух», «производительность труда», «количество разработанных техноло-

гий», «количество используемых технологий». В рамках первой модели мы сознательно ушли от рассмотрения параметра «инновационная продукция» как результирующего параметра, понимая, что арктические регионы имеют хозяйственную систему, ориентированную в первую очередь на выпуск ресурсной продукции. В этих условиях технологические инновации могут внедряться достаточно активно, не приводя, однако, к приросту значений выпуска инновационной продукции в региональной экономике. В то же время происходит стимуляция роста выпуска ресурсной продукции в рамках традиционных отраслей специализации.

В Модели 2 в качестве затратных (входных) рассмотрены уже три параметра, а именно: «затраты на исследования», «затраты на технологические инновации», «выбросы загрязняющих веществ в воздух». В качестве результирующих рассматриваются четыре параметра: «производительность труда», «количество разработанных технологий», «количество используемых технологий», «объем инновационной продукции».

Добавление параметра «объем инновационной продукции» во вторую модель (в качестве одного из целевых для развития региональной экономики) осуществляется для идентификации системных эффектов, обусловленных видами деятельности, общепризнанно относимыми к перечню инновационных. Для более полного учета фактора экологического благополучия регионов европейской части АЗРФ, в качестве входящего (затратного) был введен параметр «выбросы загрязняющих веществ в воздух». Его введение позволяет оценить эффективность системы использования экологического потенциала регионов как ресурса для достижения целевых значений экономических и инновационных показателей в регионах.

В качестве фактологической базы использовались данные Росстата по соответствующим показателям за 2010-2020 гг. Все денежные показатели были приведены к сопоставимому виду через индекс промышленных цен (к уровню 2010 г.). Выбор дефлятора обусловлен изначальным акцентом исследования на производственно-хозяйственной сфере, как ключевом базисе инновационно-технологического развития региона. При этом аспект социальных инноваций остается за рамками нашего ис-

следования, составляя его ограничение: в данном исследовании мы концентрируем внимание на производственной сфере. В этом контексте процедура преобразования показателей и переход от абсолютных к удельным значениям опирался не на показатель численности постоянного населения, проживающего в регионе, а на показатель численности занятых в экономике региона.

#### 4. Результаты исследования

##### 4.1. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ

Для регионов АЗРФ характерна неустойчивая динамика показателей инновационного развития. В разрезе регионов наблюдаются как резкие всплески значений показателей (например, по показателю объема выпуска инновационной продукции в Архангельской области в 2017 г., Рис. 1), так и значительные спады.

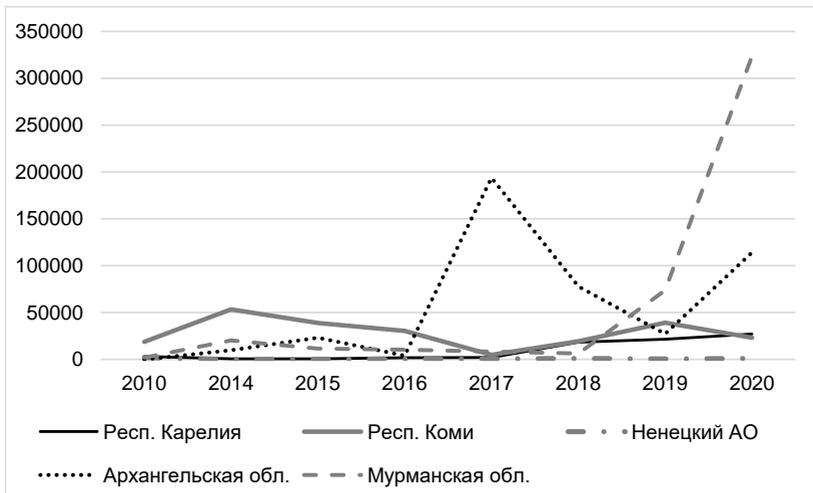


Рис. 1. Динамика объема выпуска инновационной продукции в регионах европейской части АЗРФ в 2010-2020 гг.

С другой стороны, динамика значений экологического параметра («выбросы загрязняющих веществ в атмосферу») характеризуется устойчивостью в 2010-2020 гг. Указанная выше неустойчивая динамика показателей инновационного развития сопровождается их значительной межрегиональной дифференциацией, что характерно и для показателей общего экономического развития. Отдельные характеристики арктических регионов СЗФО в 2020 г. представлены в Таблице 1.

*Таблица 1. Характеристики экономического и инновационного развития регионов европейской части АЗРФ в 2020 г.*

Регионы	ВРП на душу населения, тыс. руб.	Затраты на исследования технолог. инн., руб. на одного занят.	Кол-во разработанных и использов. передовых произв-х технологий, ед.
Архангельская область без АО (Arkhang)	514 200.4	7431.1	1141
Мурманская область (Murman)	1 072 337.1	18018.7	1535
Республика Карелия (Rkarel)	522 245.3	22340.3	953
Республика Коми (Rkomu)	749 219.3	19626.8	1404
Ненецкий автономный округ (Nenezk)	5 206 287.1	1217.9	143

Указанные данные легли в основу реализации инструментария DEA с параметрами, описанными в разделе «Материалы и методы», что позволяет получить следующие оценки эффективности в рамках региональных инновационных систем (Таблица 2 и Таблица 3).

Таблица 2. Оценки эффективности РИС европейской части АЗРФ по различным спецификациям DEA (Модель 1) в 2020 г. (получены авторами)

Объект наблюдения	CRS-input	CRS-output	VRS-input	VRS-output
Rkarel_2020	0,201417	0,201417	0,220486	0,799413
Rkomy_2020	0,150248	0,150248	0,164468	0,799464
Nenezk_2020	1	1	1	1
Arkhang_2020	0,166046	0,166046	0,259343	0,533645
Murman_2020	0,121445	0,121445	0,123271	0,961685

Таблица 3. Оценки эффективности РИС европейской части АЗРФ по различным спецификациям DEA (Модель 2) в 2020 г. (получены авторами)

Объект наблюдения	CRS-input	CRS-output	VRS-input	VRS-output
Rkarel_2020	0,854268	0,854268	1	1
Rkomy_2020	0,55759	0,55759	0,720428	0,848728
Nenezk_2020	1	1	1	1
Arkhang_2020	0,9111	0,9111	1	1
Murman_2020	0,862951	0,862951	1	1

Применение модели с переменным масштабом, ориентированной на максимизацию результирующих показателей, позволяет получить значительно более высокие оценки эффективности РИС. Иными словами при заданных и неизменных входных параметрах («затраты на исследования и инновации», «выбросы загрязняющих веществ воздух») и максимизации значений выходных («производительность», «объем инновационной продукции», «разрабатываемые и используемые технологии») возможно достижение более высокого уровня эффективности, чем при иной спецификации (input-oriented). Мы видим, что наращивание значений результирующих показателей функционирования РИС возможно и без увеличения объема затрат. Однако получение таких результатов требует воздействия на иные факторы развития инновационных систем (например, институциональную среду), за счет направленных и последовательных

управленческих усилий. В разрез к этому выводу, в практике управления РИС европейской части Арктической зоны наблюдается сокращение затрат при минимизации усилий по распространению инноваций. Также сопоставляя результаты, представленные в Таблицах 2 и 3, можно видеть, что учет параметра «объем инновационной продукции» повышает оценки эффективности. Включение данного параметра в число определяющих итоговую эффективность РИС, позволяет идентифицировать системные эффекты, обусловленные видами деятельности, традиционно рассматриваемыми как инновационные.

В данном контексте более подробного рассмотрения заслуживает оценка Моделей 1 и 2 по спецификации VRS-output (модели с переменным масштабом, ориентированные на максимизацию результирующих показателей). Оценки реальных и оптимальных параметров представлены в (Таблице 4 и Таблице 5, где входные параметры имеют белую заливку, а выходные – серую).

Таблица 4. Фактические данные и оценки оптимального уровня факторов (Projection), полученные с помощью спецификации VRS-output Модели 1 для 2020 г. (получены авторами)

	Факт (ZatrIssled)	Projection (ZatrIssled)	Факт (ZatrInnov)	Projection (ZatrInnov)
RKarel	4083.43	1028.85	18256.82	189.10
RKomy	5474.17	1028.79	14152.66	189.40
Nenezk	1028.85	1028.85	189.10	189.10
Arkhang	3306.54	1028.85	4124.54	189.10
Murman	8146.43	1028.76	9872.24	189.55
	Факт (VibrVozd)	Projection (VibrVozd)	Факт (Proizvod)	Projection (Proizvod)
RKarel	0.50	1.89	0.99	2.25
RKomy	0.91	1.89	2.23	2.79
Nenezk	1.89	1.89	2.25	2.25
Arkhang	0.28	1.89	0.82	2.25
Murman	0.57	1.89	2.97	3.09
	Факт (RazrabTehn)	Projection (RazrabTehn)	Факт (IspolzTehn)	Projection (IspolzTehn)
RKarel	0	0	0.0037	0.0046
RKomy	0	0	0.0037	0.0046

Nenezk	0	0	0.0046	0.0046
Arkhang	0	0	0.0024	0.0046
Murman	0	0	0.0044	0.0046

Таблица 5. Фактические данные и оценки оптимального уровня факторов (Projection), полученные с помощью спецификации VRS-output для Республики Коми согласно Модели 2 для 2020 г. (получены авторами)

	Факт	Projection
VibrVozd	0.91	0.91
ZatrIssled	5474.17	5474,16
ZatrInnov	14152.66	8807.60
	Факт	Projection
InnovProd	23186.60	181892.34
Proizvod	2.23	2.63
RazrabTehn	0	0
IspolzTehn	0.0037	0.0043

Мы видим, что согласно Модели 1 (Таблица 4), где в качестве единственного региона с оптимальными результатами инновационной деятельности выделяется НАО, затраты и на инновации, и на исследования в других регионах должны быть уменьшены существенно. Это обусловлено тем, что в рамках такой системы взаимосвязей только хозяйственная система НАО позволяет иметь соответствующий уровень производительности труда, в первую очередь благодаря высокой концентрации и малой численности работников. Остальные регионы ввиду более диверсифицированной экономики и большей численности существенно уступают по параметру производительности труда в расчете на одного работника. Следовательно, важно подчеркнуть, что поскольку для других регионов АЗРФ не целесообразно, и объективно невозможно прийти к параметрам РИС НАО, важно определить параметры, которые позволят им повысить эффективность функционирования РИС с учетом их региональной специфики.

Применение обеих output-oriented моделей позволяет говорить о структурных различиях в инновационных системах, требующих не пропорциональных (Proportionate Movement), а

трансформационных изменений (Slack Movement) для достижения параметров максимальной эффективности. Допуская сценарий избегания трансформационных изменений в РИС и копирования структурных взаимосвязей РИС НАО для других регионов достижение максимизации значений результирующих параметров требует сокращения затрат на исследования от 3 до 8 раз, а затрат на инновации – от 22 до 100 раз. В рамках данного допущения предполагается также увеличение значений входного параметра «выбросы в воздух» от 2 до 7 раз и сопутствующее увеличение производительности труда на величину, варьирующуюся в пределах от 4 % (Мурманская обл.) до 274 % (Архангельская обл.), а также показателя используемых технологий на величину до 100 % (Архангельская обл.). В части разработанных технологий предполагается сохранение нулевых значений. Важно отметить, что Модель 1 наглядно показывает принципиальное отличие структур взаимосвязей РИС НАО от остальных регионов. Очевидным является и то, что указанные выше изменения в параметрах инновационного развития регионов, необходимые для копирования особенностей структуры РИС НАО, не отвечают логике экономических и инновационных процессов.

Оценки по Модели 2 (Таблица 5) представляются более взвешенными, поскольку РИС НАО в ее рамках сохраняет свою эффективность, и при этом более корректно отображаются структурные взаимосвязи РИС остальных арктических регионов. РИС четырех регионов функционируют в оптимальном состоянии. Республика Коми является единственным регионом, РИС которого требует корректировок затратных и результирующих параметров для достижения целевых структурных пропорций, присущих РИС других регионов. Для входных параметров «выбросы в воздух» и «затраты на исследования и разработки» оптимальные оценки совпадают с фактическими значениями. Необходимые трансформационные изменения РИС будут сопровождаться сокращением значения входного параметра «затраты на технологические инновации» на 60 %. При увеличении значения выходного параметра «объем инновационной продукции» в 7,5 раз. Основной вклад в достижение данного результата приходится на трансформационные изменения (их вклад составляет 97%). В отношении остальных результирующих пара-

метров необходимы меньшие изменения: прирост производительности труда должен составить 18 %, а рост значения количества используемых технологий – 16 %.

#### 4.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Преимуществом инструментария DEA относительно стандартных методов, рассмотренных в обзорном разделе, является возможность работать со значительным числом затратных и результирующих переменных. С одной стороны, это позволяет более полно оценить структуру взаимосвязей региональных инновационных систем, но, с другой стороны, затрудняет представление и интерпретацию результатов. Оптимальным в рамках данной работы является представление поверхностей в трехмерном пространстве на основе квадратичного сглаживания, полученных с использованием программного пакета Statistica 10. Для Модели 1 по двум осям в горизонтальной плоскости были отражены входные параметры «затраты на исследования» (ZatrIssled) и «затраты на инновации» (ZatrInnov), по вертикальной оси было отложена полученная с помощью инструментария DEA оценка эффективности РИС (Score) (Рис. 2, 3). Для Модели 2 по осям были отражены три входных параметра: «затраты на исследования и разработки» (ZatrIssled), «затраты на технологические инновации» (ZatrInnov), «выбросы загрязняющих веществ в воздух» (VibrVozd) (Рис. 4, 5). Для каждой модели было построено по два графика на основе фактических и оценочных (оптимальных) параметров. Данный способ представления позволяет установить структурные отличия РИС с соответствующими фактическими и оптимальными входными параметрами.

Графическое отображение результатов моделирования на основе фактических затратных параметров показало:

1. вариация затрат на инновации в меньшей степени влияет на конечную оценку эффективности РИС – высокий уровень эффективности (Score) наблюдается и для высоких, и для низких значений затрат на инновации;

2. вариация значений параметра «затраты на исследования» обуславливает три типа структурных взаимосвязей между параметрами РИС: а) сочетание низкого уровня затрат и высокой

эффективности (правая сторона плоскости типа «гамак»), который характерен для экономики НАО;

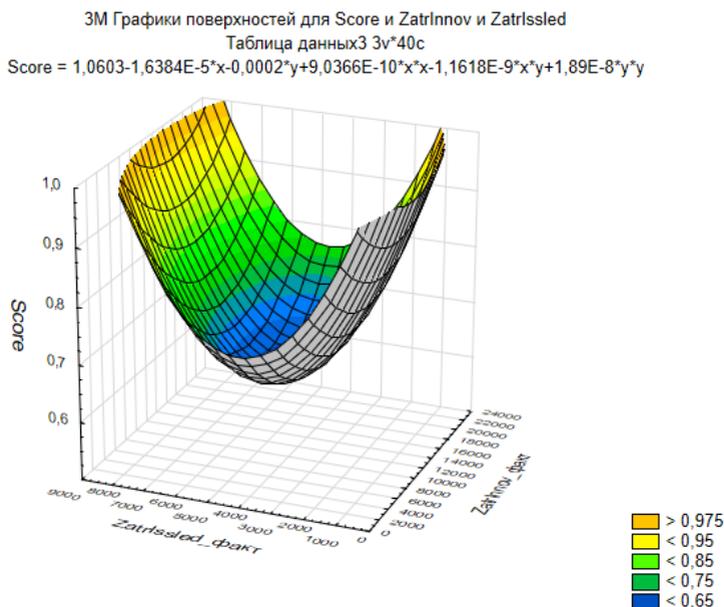


Рис. 2. Соотношение меры эффективности и фактических затратных параметров в рамках Модели 1 для регионов европейской части АЗРФ в 2010-2020 гг.

б) сочетание высокого уровня затрат на исследования и высокой эффективности (левая сторона плоскости типа «гамак»), которая характеризует регионы с более диверсифицированной экономикой (Мурманская обл.).

3. среднему уровню затрат на инновации соответствует структура взаимосвязей РИС, ведущая к наименьшей эффективности (провал в «гамаке»).

Опираясь на выявленные особенности взаимосвязей структур РИС можно сделать вывод: затраты на инновации в арктических регионах России должны носить целевой характер, направленный или на максимизацию результативности (производительности труда) отрасли специализации за счет затрат на инно-

вазии (сценарий НАО), или на максимизацию выпуска инновационной продукции за счет повышения эффективности затрат на исследования (сценарий Мурманской обл.).

3М Графики поверхностей для Score и Projection (ZatrInnov) и Projection (ZatrIssled)  
 Таблица данных2 3v\*40с  
 $Score = 0,3405+7,8021E-5*x+0,0005*y+8,2274E-10*x*x-7,0296E-8*x*y-6,8959E-8*y*y$

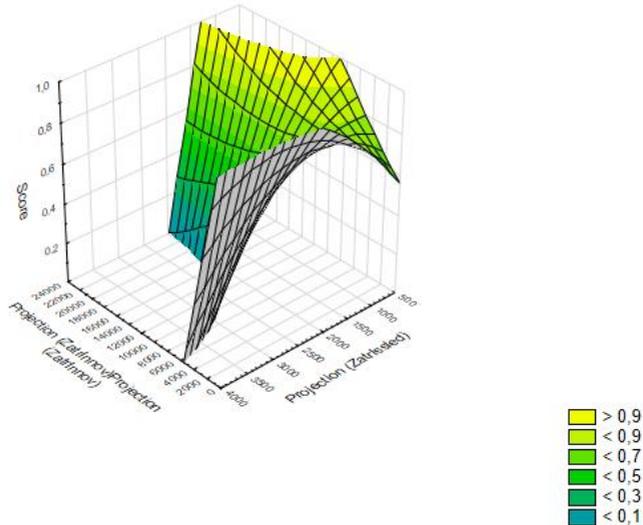


Рис. 3. Соотношение меры эффективности и оптимальных затратных параметров в рамках Модели 1 для регионов европейской части АЗРФ в 2010-2020 гг.

Представленный на Рис. 3 график иллюстрирует, что в рамках применения Модели 1 наибольшую эффективность демонстрирует структура РИС НАО, для которой значения фактических и оптимальных затратных и результирующих параметров совпадают. Для других регионов актуальны следующие сценарии повышения эффективности:

- приоритет затрат на инновации (заимствование) при минимизации затрат на исследования (разработку собственных инноваций) (правое крыло вверху с желтой заливкой)
- применение сценария НАО, стратегия инноватора-имитатора;

- приоритет затрат на исследования при минимальных затратах на инновации (заимствование технологий извне) (левое крыло с желтой заливкой в верхней части рисунка)
- применение сценария Мурманской обл., стратегия развития и диверсификации РИС.

Важнейшей особенностью графического отображения Модели 2 (Рис. 4, 5) является сохранение типа структуры взаимосвязи фактических и оптимальных значений затратных параметров (в отличие от Модели 1), что выражается в сохранении общего вида плоскости.

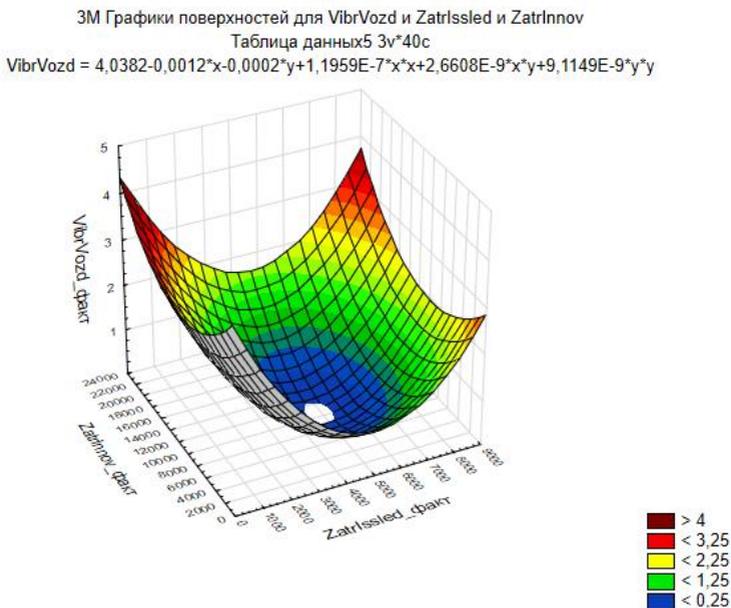


Рис. 4. Соотношение меры эффективности и фактических затратных параметров в рамках Модели 2 для регионов европейской части АЗРФ в 2010-2020 гг.

Следует отметить, что на данных графиках по вертикальной оси отображается не уровень эффективности РИС, а уровень выбросов загрязняющих веществ в воздух, и, следовательно, более высокие уровни плоскости соответствуют уже не более

совершенной модели РИС, а менее экологичной структуре взаимосвязей ее элементов. При среднем уровне затрат на исследования и инновации наблюдаются самые низкие значения выбросов загрязняющих веществ в воздух. Высоким уровням выбросов загрязняющих веществ в воздух, обозначенным на графиках красными областями, соответствуют сценарии специализации на затратах на инновации, которые ориентированы на рост производительности труда, но не снижают экологическую нагрузку (Рис. 4, 5).

3М Графики поверхностей для Projection (VibrVozd) и Projection (ZatrIssled) и Projection (ZatrInnov)  
Таблица данных4 4v\*40с

$$\text{Projection (VibrVozd)} = 2,6493-0,0008*x-5,5511E-5*y+7,7821E-8*x*x-3,7104E-9*x*y+3,9385E-9*y*y$$

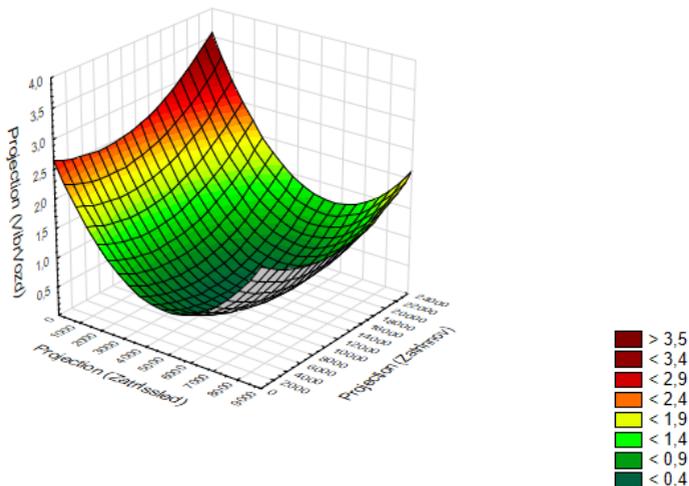


Рис. 5. Соотношение меры эффективности и оптимальных затратных параметров в рамках Модели 2 для регионов европейской части АЗРФ в 2010-2020 гг.

Можно говорить о развитии менее экологичных и более производительных технологий, которые закладывают риски техногенных катастроф и снижения качества жизни в будущем.

Сочетание параметров, показывающих наибольшую эффективность РИС, отражено на графиках в средней части (светло-

зеленая заливка). Помимо двух описанных выше моделей, с приоритетами на затратах на исследования и затратах на инновации, можно выделить третью. Для нее характерен возрастающий уровень затрат на инновации и сохраняющийся низкий уровень затрат на исследования, что может говорить о реализации сценария технологической модернизации производств при обеспечении приемлемых показателей экологической нагрузки, что обеспечивает приемлемые значения эффективности структуры РИС.

Давая резюмирующую характеристику арктических РИС можно говорить о том, что они не являются сугубо автономными образованиями. Для Арктики важны переливы инноваций из других регионов, тогда их РИС могут сконцентрироваться на специфических исследованиях и результатах. Данная стратегия соответствует сценарию инноватора-имитатора.

## **5. Выводы**

Полученная оценка моделей различных спецификаций позволяет утверждать о том, что в системе приоритетов для арктических регионов должно быть снятие барьеров для распространения инноваций, формирование благоприятной институциональной среды, стимулирование развития инновационной среды («рединесс-среды», в терминах С. Д. Бодрунова [3]), позволяющее даже в условиях сохранения или уменьшения затрат на исследования наращивать значения показателей результативности РИС (выпуск инновационной продукции). Для регионов с более наукоемкой и диверсифицированной экономикой затраты на исследования трансформируются в рост количества результатов интеллектуальной деятельности и объемов выпуска инновационной продукции.

Масштабная и быстрая трансформацию затрат в конкретные технологические результаты в виде количества используемых технологий и прироста производительности труда возможна для регионов с концентрированной добывающей промышленностью (сценарий НАО). Оценка особенностей структуры РИС с использованием инструментария DEA позволила обосновать приоритизацию развития РИС в европейской части АЗРФ.

Именно концентрация усилий на повышении уровня технологического развития через затраты на инновации или концентрация на увеличении количества РИД через затраты на исследования позволяют региональным инновационным системам получать более высокие оценки эффективности. При этом установлено, что для достижения сбалансированных результирующих показателей РИС, технологические инновации должны быть направлены не только на рост производительности труда в экономике, но и на улучшение значений экологических параметров. Последний аспект наиболее актуален в условиях риска возрастания техногенных катастроф и падения качества жизни при ужесточении санкционных ограничений и необходимости долгосрочного выстраивания новых технологических цепочек внутри страны. С другой стороны, концентрация всех затрат на экологических технологиях и недостаточный учет других приоритетов технологического развития обусловят отставание в параметрах производительности.

Научно-практическая ценность данной работы заключается в том, что, представленные модели позволяют обосновать наиболее эффективные структуры взаимосвязей элементов РИС, обеспечивающие развитие арктических регионов. Результаты вносят вклад в разработку современных подходов к анализу и оценке уровня инновационного развития арктических регионов, актуальных в силу изменяющегося геополитического и геоэкономического контекста инновационного развития Арктической зоны России, расширения ее границ за счет хозяйственно связанных территорий Севера, а также продолжающегося этапа институционального проектирования развития макрорегиона.

Дальнейшие исследования будут посвящены квантификации структурных взаимосвязей элементов РИС АЗРФ и разработке на этой основе мер государственной политики, направленных на оптимизацию РИС. Особую актуальность это имеет для преодоления последствий внешнего санкционного давления и технологической блокады экономики страны.

## Литература

1. АГАРКОВ С.А. *Особенности пространственной организации инновационных процессов в арктическом регионе: вызовы и задачи современности* // Вопросы инновационной экономики. – 2022. – Т. 12, №3. – С. 1759–1786.
2. АРХИПОВА К. *Оценка инновационного развития регионов Арктической зоны Российской Федерации* // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2019. – Т. 10, №2. – С. 261–274.
3. БОДРУНОВ С. *Ноономика: монография*. – М.: Культурная революция, 2018. – 432 с.
4. ВОЛКОВ А., ТИШКОВ С., НИКИТИНА А. *Эволюция механизмов управления экономическим пространством российской Арктики: современный этап* // ARS Administrandi (Искусство управления). – 2022. – Т. 14, №2. – С. 174–201.
5. ГОЛИЧЕНКО О. Г. *Российская инновационная система: проблемы развития* // Вопросы экономики. – 2004. – №12. – С. 16–34.
6. ГОРЮНОВА Л. *Инновационная система региона: Инструменты и механизмы управления: монография*. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2001. – 216 с.
7. ГОХБЕРГ Л. *Национальная инновационная система России в условиях «новой экономики»* // Вопросы экономики. – 2003. – №3. – С. 26–38.
8. ЕГОРОВ Н., БАБКИН А., БАБКИН И., МАРТЫНУШКИН А. *Оценка устойчивости и эффективности инновационного развития субъектов российской Арктики* // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2022. – Т. 25, №2(76). – С. 35–44.
9. ЕГОРОВ Н., КОВРОВ Г. *Сравнительная оценка инновационного развития регионов крайнего севера* // Арктика и Север. – 2020. – №41. – С. 62–74.
10. КАМЕНСКИХ М., ПОСТНИКОВ В. *Исследование особенностей и перспектив развития бизнес-акселератора как института сетевого взаимодействия (на примере*

- Пермского края*) // Региональная экономика: теория и практика. – 2019. – Т. 17, №2(461). – С. 369–382.
11. КУЗНЕЦОВА М., ВАСИЛЬЕВА А. *Инновационный потенциал регионов Арктической зоны РФ: методика оценки, сравнительный анализ, перспективы развития* // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2023. – Т. 16, №2. – С. 69–87.
  12. ПЕТРОВ И., МЕРКУЛИНА И., ХАРИТОНОВА Т. *Научно-методический подход к экологической оценке горнодобывающих и энергетических проектов Арктики* // Уголь. – 2023. – №5. – С. 77–83.
  13. ПРОЦИНА Ю.С., НАЗАРОВА Ю.А. *Совершенствование форм государственной поддержки проектов освоения энергетических ресурсов арктического региона* // Вестник РГГУ. Серия «Экономика. Управление. Право». – 2022. – №1. – С. 126–139.
  14. ТОРЦЕВ А., ТОРЦЕВА Т. *Экологические инновации в регионах Арктической зоны Российской Федерации* // Региональная экономика: теория и практика. – 2019. – Т. 17, №8. – С. 1577–1592.
  15. ФАДЕЕВ А., ЧЕРЕПОВИЦЫН А., ЛАРИЧКИН Ф. *Устойчивое развитие нового добывающего региона при реализации нефтегазовых проектов на шельфе Арктики* // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2012. – №1(19). – С. 27–38.
  16. ЦУКЕРМАН В., ГОРЯЧЕВСКАЯ Е. *Инновационный потенциал арктических регионов России* // Арктика и Север. – 2022. – №49. – С. 70–85.
  17. ЦУКЕРМАН В., ГОРЯЧЕВСКАЯ Е. *О методологии оценки уровня инновационного развития регионов Севера и Арктики* // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2017. – №3(54). – С. 57–68.
  18. ЦУКЕРМАН В., ГОРЯЧЕВСКАЯ Е. *Оценка инновационного развития арктических регионов* // Север и Рынок: формирование экономического порядка. – 2018. – №2(58). – С. 138–146.
  19. AVILÉS-SACOTO S., COOK W., GÜEMES-CASTORENA D., ZHU J. *Modelling Efficiency in Regional*

- Innovation Systems: A Two-Stage Data Envelopment Analysis Problem with Shared Outputs within Groups of Decision-Making Units* // European Journal of Operational Research. – 2020. – Vol. 287. – P. 572–582.
20. BEREZIKOV S. *Structural changes and innovation economic development of the Arctic regions of Russia* // Journal of Mining Institute. – 2019. – Vol. 240. – P. 716–723.
21. CAMANHO A., SILVA M., PIRAN F., LACERDA D. *A literature review of economic efficiency assessments using Data Envelopment Analysis* // European Journal of Operational Research. – 2023. – DOI:10.1016/j.ejor.2023.07.027.
22. CHOU H., LU W., KWEH Q., TSAI C. *Using hierarchical network data envelopment analysis to explore the performance of national research and development organizations* // Expert Systems with Applications. – 2023. – Vol. 234. – 121109.
23. EGOROV N., POSPELOVA T., YARYGINA A., KLOCHKOVA E. *The Assessment of Innovation Development in the Arctic Regions of Russia Based on the Triple Helix Model* // Resources. – 2019. – No. 8(2). – 72.
24. ETZKOWITZ H. *The Triple Helix: University-Industry-Government Innovation in Action*. – New York and London: Routledge, 2008. – 176 p.
25. KARNAEVA A., KULIKOVA O., MAZLOVA E., BURYAK A. *Aged diesel and heavy metal pollution in the Arctic tundra (Yamal Peninsula, Russia)* // Science of The Total Environment. – 2021. – Vol. 792. – 148471.
26. LIFSHITS S., GLYAZNETSOVA Y., EROFEEVSKAYA L., CHALAYA O., ZUEVA I. *Effect of oil pollution on the ecological condition of soils and bottom sediments of the arctic region (Yakutia)* // Environmental Pollution. – 2021. – Vol. 288. – 117680.
27. METCALFE S. *The Economic Foundations of Technology Policy: Equilibrium and Evolutionary Perspectives* // Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change. – Oxford, UK: Blackwell, 1995. – P. 409–513.

28. NORTH D.C. *Institutions, Institutional Change and Economic Performance: Economic performance*. – Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1990. – 152 p.
29. OTT H., RONDÉ P. *Inside the Regional Innovation System Black Box: Evidence from French Data // Papers in Regional Science*. – 2019. – No. 98. – P. 1993–2026.
30. SCHMIDT DE OLIVEIRA M., STEFFEN V., CARLOS DE FRANCISCO A., TROJAN F. *Integrated data envelopment analysis, multi-criteria decision making, and cluster analysis methods: Trends and perspectives*. *Decision Analytics Journal*. – 2023. – Vol.8. – 100271.
31. SHIKLOMANOV N., STRELETSKIY D., SUTER L., ORTTUNG R., ZAMYATINA N. *Dealing with the bust in Vorkuta, Russia // Land Use Policy*. – 2020. – No. 93. – 03908.
32. SKUF'INA T., BARANOV S., SAMARINA V., SAMARIN A. *The impact of the national Arctic policy on the socio-economic transformations of Russia's polar regions // The North and the Market: Forming the Economic Order*. – 2022. – No. 2. – P. 69–81.
33. STERNBERG R. *Innovation networks and regional development—evidence from the European Regional Innovation Survey (ERIS): theoretical concepts, methodological approach, empirical basis and introduction to the theme issue // European Planning Studies*. – 2000. – No. 8. – P. 389–407.
34. XU K., MEI R., SUN W., ZHANG H., LIANG L. *Estimation of sustainable innovation performance in European Union countries: Based on the perspective of energy and environmental constraints // Energy Reports*. – 2023. – Vol. 9. – P. 1919–1925.
35. ZEMTSOV S., KOTSEMIR M. *An assessment of regional innovation system efficiency in Russia: the application of the DEA approach // Scientometrics*. – 2019. – Vol. 120, No. 2. – P. 375–404.

## **INNOVATIVE SYSTEMS OF THE RUSSIAN ARCTIC REGIONS: STRUCTURAL FEATURES, DEVELOPMENT SCE-**

## NARIOS AND ASPECTS OF MANAGEMENT (APPLICATION OF THE DEA METHODOLOGY)<sup>1</sup>

**Natalia Roslyakova**, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand.Sc. (na@roslyakova24.ru).

**Alexander Volkov**, Institute of Economics of the Karelian Scientific Center of RAS, Petrozavodsk, Cand.Sc. (kov8vol@gmail.com).

**Sergey Tishkov**, Institute of Economics of the Karelian Scientific Center of RAS, Petrozavodsk, Cand.Sc. (insteco\_85@mail.ru).

*Abstract: The purpose of this work is to identify the features of structural relationships between elements of innovation systems that are relevant for the formation of effective models for managing the innovative development of the Arctic regions. The study used the DEA analysis (Data Envelopment Analysis) tools. The objects of the study are regions that are fully or partially included in the European part of the Arctic zone of the Russian Federation (AZRF). Model 1 considers “research costs” and “technological innovation costs” as cost (input) parameters, and “emissions of pollutants into the air”, “labor productivity”, “number of developed technologies”, “number of technologies used” as resulting (output) parameters. In Model 2, the cost (input) parameters are: “research costs”, “technological innovation costs”, “emissions of pollutants into the air”; the resulting (output) parameters “labor productivity”, “number of developed technologies”, “number of technologies used”, “volume of innovative products”. As part of the results obtained, a methodological approach is proposed to identify the types of structural relationships between elements of the regional innovation system (RIS) using DEA tools. The effectiveness of the interrelationship structures between the elements of the RIS that have developed in the regions under consideration has been assessed. Scenarios for transition from actual to optimal values of RIS parameters have been developed.*

**Keywords:** regional innovation systems (RIS), Arctic regions, DEA-analysis, structural relationships of RIS elements, scenarios for the development of RIS.

УДК 332.012.2

ББК 65.050

---

<sup>1</sup> The article was prepared with the financial support of the Russian Science Foundation (RNF), project No. 23-28-00693, <https://rscf.ru/project/23-28-00693/>.

Статья представлена к публикации  
членом редакционной коллегии ...заполняется редактором...

Поступила в редакцию ...заполняется редактором...

Опубликована ...заполняется редактором...