

Научная статья

Original article

УДК 656

doi: https://doi.org/10.55186/2413046X_2026_11_4_50

edn: INOJHA

**ЭКОНОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ДЛЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ
КОММУНИКАЦИИ В УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ**

**ECONOMETRIC MODEL OF SPATIAL DISTRIBUTION OF
RESOURCES FOR LOGISTICAL COMMUNICATION IN THE
CONDITIONS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE ARCTIC
ZONE**



Осипова Елена Эдуардовна, кандидат экономических наук, доцент, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 163001 наб. Северной Двины, 17, Архангельск, Россия, E-mail: e.e.osipova@narfu.ru, ORCID: 0000-0001-7960-1607

Osipova Elena Eduardovna, Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, Russia, E-mail: e.e.osipova@narfu.ru, ORCID: 0000-0001-7960-1607

Аннотация. В статье автором рассматривается разработка эконометрической модели пространственного распределения ресурсов для логистической коммуникации в Арктической зоне с учетом факторов устойчивого развития. Предложенный подход направлен на повышение эффективности распределения материально-технических потоков и оптимизацию

логистических маршрутов в условиях высокой неопределенности, значительной пространственной дифференциации и специфических природно-климатических ограничений.

В рамках исследования обосновывается выбор объясняющих переменных, отражающих экономические, инфраструктурные и институциональные аспекты, а также показатели устойчивости: экологические риски, социально-экономическое воздействие и устойчивость цепочек поставок, для описания пространственной взаимосвязи применяется пространственная эконометрика (включая учет пространственной автокорреляции и неоднородности), что позволяет более корректно оценивать влияние факторов на уровень потребления и распределения ресурсов между территориальными единицами.

На основе данных по регионам Арктической зоны формируется и калибруется модель, оценивается ее адекватность и интерпретируемость, а также анализируются сценарии для поддержки принятия решений в сфере логистики и транспортной инфраструктуры. Практическая значимость работы заключается в возможности применения модели для прогнозирования потребностей в ресурсах, выбора оптимальных направлений логистической коммуникации и формирования ресурсных программ с ориентацией на цели устойчивого развития.

Результаты исследования могут быть использованы для разработки региональных программ инфраструктурного развития и поддержки управленческих решений в сфере арктической логистики, а так же для планирования логистики и распределения ресурсных потоков между арктическими территориями, поддержки принятия решений в региональной и федеральной политике устойчивого развития, включая учет экологических ограничений и социально-экономических эффектов при выборе логистических решений, обоснования инвестиционных проектов, оптимизации бюджетов и повышения эффективности госзакупок (господдержки) в части обеспечения северных территорий, прогнозирования

потребностей в ресурсах и формирования календарных планов поставок, в научных исследованиях и аналитических отчетах: как методическая база для дальнейших работ по пространственной эконометрике и устойчивой логистике Арктики.

Abstract. In this article, the author discusses the development of an econometric model for the spatial distribution of resources for logistics communication in the Arctic zone, taking into account sustainable development factors. The proposed approach aims to improve the efficiency of material and technical flow distribution and optimize logistics routes in conditions of high uncertainty, significant spatial differentiation, and specific natural and climatic constraints.

The study substantiates the choice of explanatory variables that reflect economic, infrastructural, and institutional aspects, as well as sustainability indicators: environmental risks, socioeconomic impact, and sustainability of supply chains. Spatial econometrics (including the consideration of spatial autocorrelation and heterogeneity) is used to describe spatial relationships, allowing for more accurate estimation of the impact of factors on consumption levels and resource distribution across territorial units.

Based on data from the Arctic regions, a model is formed and calibrated, its adequacy and interpretability are assessed, and scenarios are analyzed to support decision-making in the field of logistics and transport infrastructure. The practical significance of this work lies in the possibility of using the model to predict resource needs, select optimal logistics communication routes, and form resource programs that are focused on sustainable development goals.

The research results can be used to develop regional infrastructure development programs and support management decisions in the field of Arctic logistics, as well as to plan logistics and distribute resource flows between Arctic territories, support decision-making in regional and federal sustainable development policies, including consideration of environmental constraints and socio-economic effects. when choosing logistical solutions, substantiating investment projects, optimizing budgets and improving the efficiency of public

procurement (state support) in terms of providing the northern territories, forecasting resource needs and forming supply schedules, in scientific research and analytical reports: as a methodological basis for further research on spatial econometrics and sustainable logistics in the Arctic.

Ключевые слова: Арктика, логистические коммуникации, критерии экономической эффективности, транспортная инфраструктура, логистические маршруты, пространственное распределение ресурсов, сезонность логистики, фактор неопределенности, межрегиональные поставки

Keywords: Arctic, logistics communications, spatial distribution of resources, economic efficiency criteria, transport infrastructure, logistics routes, risk-oriented approach, capital and operating costs, navigation support, warehouse infrastructure, logistics seasonality, uncertainty factor, and interregional deliveries

Введение

Арктический регион, обладающий стратегическими запасами природных ресурсов и уникальным транзитным потенциалом, в последние десятилетия становится зоной интенсивного экономического и инфраструктурного освоения, однако экстремальные климатические условия, хрупкость экосистем и социально-экономическая специфика территорий требуют принципиально новых подходов к организации логистических коммуникаций. Классические модели распределения ресурсов зачастую не учитывают комплексное воздействие факторов устойчивого развития, что приводит к дисбалансам между экономической эффективностью, экологической безопасностью и социальной ответственностью.

В данной статье, автор рассматривает научную проблему с точки зрения отсутствия интегральных эконометрических инструментов, способных количественно оценивать и оптимизировать пространственное распределение логистических ресурсов с одновременным учётом триады устойчивого развития (экономика, экология, социум) в условиях Арктики, ограничивает возможности долгосрочного планирования и повышает риски деградации уникальных природных и социальных систем.

Актуальность исследования носит прикладной и междисциплинарный характер, так как создание адекватной эконометрической модели автором отвечает на конкретный запрос государства и бизнеса в инструменте для обоснования инвестиций в арктическую логистику, и одновременно вносит вклад в фундаментальную науку, интегрируя подходы региональной экономики, экономики природопользования, логистики и пространственного анализа в рамках стереотипа устойчивого развития. Разработка авторской эконометрической модели является критически важным шагом для перехода от фрагментарного освоения Арктики к её комплексному и ответственному развитию.

Целью данного исследования является разработка эконометрической модели, позволяющей оптимизировать размещение логистических узлов, маршрутов и ресурсов в Арктической зоне на основе многокритериального анализа факторов устойчивого развития.

Для достижения поставленной в исследовании цели автором предполагается решить следующие задачи:

- систематизировать ключевые экономические, экологические и социальные индикаторы, влияющие на логистическую инфраструктуру Арктики;
- построить пространственную базу данных с учётом геоклиматических, ресурсных и инфраструктурных параметров;
- разработать модель пространственной авторегрессии (SAR) или модели с пространственными ошибками (SEM) для анализа взаимозависимостей регионов;
- интегрировать в модель механизмы учёта динамики климатических изменений и нормативно-правовых ограничений [1, Жаворонкова Н.Г., с.44-45];
- апробировать модель на данных ключевых арктических регионов РФ и оценить её прогностическую способность.

Научная новизна заключается в сочетании методов пространственной эконометрики с принципами устойчивого развития применительно к

логистике Арктики, а также в разработке адаптивного инструментария, позволяющего моделировать сценарии с учётом меняющихся внешних условий.

Практическая значимость, заключающаяся в полученных результатах исследования, которые могут быть использованы государственными органами при формировании стратегий развития Арктической зоны, корпорациями – при планировании логистических цепочек, а также научным сообществом для дальнейших исследований в области [2, Кондратьев А.А., с.110] региональной экономики и управления природопользованием.

Среди ключевых исследований в области разработки эконометрических и оптимизационных моделей для коммуникационной логистики и устойчивого развития Арктической зоны следует выделить работы следующих авторов и научных коллективов:

1. В области пространственной эконометрики и регионального развития Арктики: Баранов С. В. и Скуфьина Т. П., Nordhaus, W. D;
2. В области логистики и транспортного моделирования в условиях Арктики: Лёвина А. И., Дубгорн А. С., Фадеев А. М., Калязина С. Е., Choi M., Chung H., Yamaguchi H., Nagakawa K.
3. В области интеграции факторов устойчивого развития в экономико-математические модели: Макаров И.Н., Дробот Е.В.;
4. Методологические основы (пространственная эконометрика и анализ данных): Luc Anselin, LeSage, James P.; Pace, R. Kelley, M. В. Чикир, К. С. Птицыной.

Автором статьи выявлен ключевой научный пробел, на который направлено предлагаемое исследование – большинство существующих работ либо сосредоточены на узкой проблеме (только логистическая оптимизация, только экологическая оценка), либо используют методы, недостаточно учитывающие специфику Арктики (например, игнорируют пространственные взаимосвязи или динамику климата). Интеграция пространственной эконометрики, логистического моделирования и

принципов устойчивого развития (триада: экономика-экология-социум) в единую количественную модель для Арктической зоны представляет собой новую, актуальную научную задачу, требующую синтеза подходов из перечисленных выше областей.

Разработанная автором эконометрическая модель пространственного распределения ресурсов для логистической коммуникации с учётом факторов устойчивого развития Арктической зоны обусловлена комплексом взаимосвязанных глобальных, геостратегических, экономических и экологических вызовов, делающих данное исследование своевременным и востребованным, таким образом направления актуальности разработанной модели заключается в следующих направлениях:

1. Геостратегическая и экономическая актуальность модели заключается в следующем:

- Интенсификация освоения ресурсов, так как Арктика содержит до 30% мировых неразведанных запасов газа и 13% нефти, а также значительные месторождения редкоземельных металлов и других полезных ископаемых и активное вовлечение этих ресурсов в хозяйственный оборот требует создания эффективных и надёжных логистических цепочек.

- Развитие Северного морского пути (СМП), глобальное потепление и интенсивное таяние льдов открывает новые перспективы для международного транзита, следовательно СМП сокращает путь между Европой и Азией на 30-40%, что требует научно обоснованного планирования портовой, транспортной и вспомогательной инфраструктуры для безопасной и устойчивой эксплуатации маршрута.

- Неравномерность пространственного развития, определяемые существующими моделями распределения логистических ресурсов часто носят точечный или проектный характер, не учитывая системные эффекты для всего региона, что приводит к диспропорциям, повышенным издержкам и неэффективному использованию бюджетных средств.

2. Экологическая императивность – ключевой фактор устойчивости:

- Арктические экосистемы обладают низкой способностью к самовосстановлению. Следовательно традиционные подходы к логистике, ориентированные на минимизацию краткосрочных затрат, могут привести к необратимым экологическим катастрофам (разливы нефти, деградация почв, нарушение миграционных путей).

- Влияние климатических изменений, в виде процессов таяния вечной мерзлоты, изменения ледовой обстановки и береговой эрозии напрямую угрожают инфраструктуре, разработанная автором модель позволяет учитывать эти динамичные факторы как ограничивающие параметры, а не как статичный фон.

- Соблюдение экологических стандартов, за счет ужесточение международного и национального природоохранного законодательства (например, требования Полярного кодекса IMO) требует заблаговременного учёта экологических рисков и издержек на их минимизацию при планировании логистики.

3. Социально-гуманитарная значимость:

- Обеспечение жизнедеятельности населённых пунктов, так как логистика для Арктики - это не только проекты по добыче, но и система жизнеобеспечения удалённых поселений (северный завоз), то разработанная автором эконометрическая модель позволяет учитывать социальную значимость грузопотоков для устойчивого развития коренных народов и местных сообществ.

- Создание новых рабочих мест и развитие человеческого капитала – оптимальное размещение логистических узлов может стимулировать развитие сервисных кластеров и способствовать закреплению населения, снижая риски социальной деградации территорий.

4. Научно-методологическая актуальность:

- Пробел в инструментарии, так как существующие эконометрические и оптимизационные модели (гравитационные, модели размещения, транспортные задачи) слабо адаптированы к специфике Арктики, они, как

правило, не интегрируют в единый расчётный аппарат экономические (издержки, грузопотоки), экологические (коэффициенты уязвимости, риск) и социальные (доступность, качество жизни) показатели.

- Необходимость учёта пространственных зависимостей – так, например, решения в одном Арктическом регионе (строительство порта) напрямую повлияют на соседние территории (нагрузка на транспортные коридоры, экологический след), что требует применения методов пространственной эконометрики (SAR, SEM), которые только начинают применяться в подобных Арктических исследованиях.

- Управление в условиях неопределённости, авторская модель может «работать» в условиях высокой волатильности климатических, геополитических и экономических условий, предоставляя сценарные прогнозы для принятия решений.

В соответствии с поставленной целью авторское исследование предлагает следующие конкретные решения для каждой из поставленных задач в области разработки эконометрической модели:

1. Систематизация ключевых индикаторов устойчивого развития для Арктической логистики – создание Иерархической Системы Индикаторов устойчивой логистики Арктики (ИСИЛА), структурированной по принципам ESG (экологический блок (E), социальный блок (S), экономический и управленческий блок (G/E)).

2. Построение пространственной базы данных – разработка специализированной Геоинформационной Аналитической Системы «Арктика-Логистика» (ГАС АЛ) на основе открытых и авторских данных.

3. Разработка эконометрической модели с учётом пространственных зависимостей, т.е создание Модифицированной модели с интегрированными факторами устойчивости;

4. Интеграция механизмов учёта динамики и нормативных ограничений – применение сценарного моделирования;

5. Апробация модели и оценка прогностической способности, т.е. проведение квазиэксперимента на примере планирования логистического кластера в ключевом регионе.

Проблематика и существующие методы и модели пространственного распределения ресурсов для устойчивой логистики в Арктике

Теория и методология научного исследования по выбранной теме составила основу для фундаментальных элементов, а проанализированные в большом объеме научные и практические работы и разработки как отечественных, так и зарубежных авторов в области теории хозяйственного управления, теории развития экономико-социальных систем, экономики и менеджмента транспортно-логистических систем, дали возможность решить поставленные задачи.

Научное исследование строилось на анализе различных трудов, как российских так зарубежных, что позволило определиться с общими методическими подходами в исследуемом научном направлении [3, Осипова Е.Э., с.144-145]. Среди ключевых исследований в области разработки эконометрических и оптимизационных моделей для логистики и устойчивого развития Арктической зоны следует выделить работы следующих авторов и научных коллективов, так в области пространственной эконометрики и регионального развития Арктики, авторы Баранов С. В. и Скуфьина Т. П. (Россия) – вели исследования по моделированию экономического развития Арктических регионов РФ с учётом пространственных авторегрессий и влияния инфраструктурных факторов. Nordhaus, W. D, – работал над исследованиями по интеграции климатических изменений в экономические модели регионального развития, включая оценку воздействия на транспортные системы. Коллектив «Арктического экономического кластера» (Университет Лапландии, Финляндия) – разрабатывал модели устойчивого развития с использованием панельных данных и учётом социально-экологических ограничений.

В области логистики и транспортного моделирования в условиях Арктики Лёвина А. И., Дубгорн А. С., Фадеев А. М., Калязина С. Е. (Россия) – проводили исследования по оптимизации грузопотоков на Северном морском пути с применением методов сетевого анализа и теории графов, Choi M., Chung H., Yamaguchi H., Nagakawa K. – проводили научно-исследовательские работы в области планированию маршрутов в Арктике с учётом неопределённости прогнозов ледовой обстановки.

В области интеграции факторов устойчивого развития в экономико-математические модели Макаров И. Н., Дробот Е. В. – разработали многокритериальные модели принятия решений для проектов в Арктике, балансирующих экономические выгоды и экологические риски, а Российские учёные из ИНП РАН и МГУ В. А. Черепанов и Е. В. Балацкий – осуществляют исследования по оценке «стоимости устойчивости» и интеграции эколого-экономических показателей в модели территориального планирования. Коллектив проекта «ArcSys» (международный) попытались создать комплексные системные динамические модели для Арктики, связывающих климатические, экономические и социальные модули.

Методологические основы (пространственная эконометрика и анализ данных) нашли место в научно-исследовательских работах авторов Luc Anselin (классические работы по пространственной эконометрике – это модели SAR, SEM, SDM), LeSage, James P.; Pace, R. Kelley; современные разработки в области байесовских пространственных моделей и обработки больших геоданных и Российских исследователей М. В. Чикир, К. С. Птицыной – работы по адаптации методов пространственной статистики и геоинформационного анализа к российским региональным данным, включая арктические территории.

Разработка эффективных моделей пространственного распределения ресурсов для арктической логистики, интегрирующих принципы устойчивого развития, представляет собой комплексную научную и практическую

проблему и её можно структурировать по следующим ключевым аспектам (таблица 1).

Таблица 1. Комплексные научные и практические проблемы по ключевым аспектам (составлено автором)

| Проблематика | Аспект | Пояснение |
|-------------------------------------|---|---|
| Существующие проблемы и ограничения | Пространственно-географические проблемы | <p>– Неоднородность и экстремальные условия Арктики характеризуются огромной территорией с крайне неравномерным распределением ресурсов, населения и инфраструктуры. Экстремальные климатические условия (низкие температуры, ледовый покров, полярная ночь) делают традиционные логистические модели неприменимыми.</p> <p>– Высокая степень пространственной разобщенности - существуют «узлы» активности (порты, добывающие предприятия) и огромные «пустые» пространства, что требует моделей, которые работают с дискретными, удаленными объектами, а не с непрерывными пространствами.</p> <p>– Динамичность физической среды - процессы таяния льдов и вечной мерзлоты постоянно меняют транспортную доступность и безопасность размещения объектов, что требует динамических, адаптивных моделей вместо статических</p> |
| | Методологические проблемы | <p>– Доминирование экономико-центричных моделей - большинство используемых моделей (транспортные задачи, гравитационные модели, анализ сетей) оптимизируют лишь один критерий — минимизацию экономических издержек или максимизацию прибыли.</p> <p>– Неполная интеграция экологических ограничений - экологические факторы часто рассматриваются как внешние, не переводятся в количественные переменные и не включаются напрямую в алгоритмы оптимизации, при этом риски и ущерб оцениваются постфактум.</p> <p>– Отсутствие социального блока в моделях - социальные эффекты (развитие поселений, доступность услуг для населения, воздействие на коренные народы) редко</p> |

| Проблематика | Аспект | Пояснение |
|--|--|--|
| | | <p>формализуются и учитываются как целевые функции или ограничения.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Игнорирование пространственных зависимостей - решения в одной точке Арктики (например, строительство нового порта) оказывают мощное влияние на соседние территории (перегрузка других портов, изменение маршрутов, экологические риски), большинство моделей рассматривают объекты как независимые. – Сложность учёта неопределённости - климатические, политические и рыночные прогнозы для Арктики имеют высокую степень неопределённости, а статические модели не способны работать в таких условиях. |
| | <p>Информационные и инфраструктурные проблемы</p> | <ul style="list-style-type: none"> – Дефицит и разрозненность данных - качество и доступность данных по экономическим, экологическим и социальным параметрам арктических регионов значительно ниже, чем для других территорий, данные часто имеют разную периодичность, формат и степень детализации. – Отсутствие единой геоинформационной среды - нет общепринятой цифровой платформы, где агрегируются пространственные данные о всех значимых факторах (ледовая обстановка, экологическая уязвимость, социально-экономические показатели) для целей комплексного моделирования |
| <p>Существующие методы и модели (их классификация и ограничения)</p> | <p>Экономико-математические и логистические модели (без явного учёта устойчивости)</p> | <ul style="list-style-type: none"> – Транспортные задачи (модели линейного программирования) - используются для минимизации стоимости перевозок между источниками и потребителями. Возможное ограничение - не учитывают экологические и социальные издержки, не адаптированы к динамическим условиям Арктики (лед, штормы). – Гравитационные модели - анализируют интенсивность грузопотоков между пунктами на основе их «массы» (например, объёма производства) и «расстояния». Возможные ограничения – «расстояние» в Арктике – это не только километры, но и время, зависящее от льда, что делает модель сложной и не учитывает экологическую чувствительность маршрутов. – Сетевые модели и анализ транспортных |

| Проблематика | Аспект | Пояснение |
|--------------|---|---|
| | | <p>коридоров - позволяют оптимизировать потоки по сети путей. Возможные ограничения: требуют детальной стабильной сети, которая в Арктике формируется и меняется, обычно не включают экологические риски как параметры сети (например, «стоимость» прохождения через уязвимый район).</p> <p>– Модели размещения (локации) производства и инфраструктуры - определяют оптимальные места для размещения объектов. Возможные ограничение: критерии размещения обычно экономические (близость к сырьевым базам, рынкам), экологические ограничения (особо охраняемые природные территории) и социальные требования (близость к населённым пунктам) добавляются как простые запрещающие зоны, без комплексного баланса.</p> |
| | Экологические и риск-ориентированные модели | <p>– Модели экологического риска и карты чувствительности - создают пространственные карты, где различные участки Арктики классифицируются по степени уязвимости к антропогенным воздействиям. Возможные ограничения: эти модели обычно отделены от экономико-логистических, они служат справочным материалом, но не интегрированы в алгоритмы оптимизации.</p> <p>– Системы экологического мониторинга и модели распространения загрязнений - показывают возможные последствия аварий. Возможное ограничение: они используются для оценки последствий уже принятых решений, но не для их формирования на этапе планирования.</p> |
| | Модели устойчивого развития (с попыткой интеграции) | <p>– Модели с использованием анализа «жизненного цикла» (LCA) - пытаются оценить совокупное воздействие логистического проекта на окружающую среду на всех этапах. Возможное ограничение: чаще применяются к конкретному продукту или проекту, сложно масштабироваться на региональное пространственное планирование.</p> <p>– Модели мультикритериальной оптимизации (МКО) - позволяют учитывать несколько критериев одновременно (стоимость, время, экологический риск).</p> |

| Проблематика | Аспект | Пояснение |
|--------------|--|--|
| | | <p>Возможные ограничения: результатом является набор компромиссных решений (Парето-фронт), что затрудняет выбор единственного варианта для практического применения, часто не учитывают пространственные взаимосвязи между объектами.</p> <p>– Сценарное моделирование и модели системной динамики - позволяют оценить развитие системы (например, региона) в долгосрочной перспективе при различных исходных условиях. Возможное ограничение: часто имеют высокую степень агрегации (работают на уровне макрорегионов) и недостаточно детализированы для принятия конкретных логистических решений о размещении ресурсов.</p> |
| | <p>Методы пространственной статистики и эконометрики (потенциально наиболее релевантные)</p> | <p>– Модели пространственной авторегрессии (SAR, SEM, SDM - эти методы статистически учитывают взаимозависимость соседних территорий – ключевая характеристика Арктики, где решения в одном месте влияют на другие. Ограничение в текущих исследованиях: они применяются в основном для анализа уже существующих экономических или социальных явлений (например, распространение инвестиций), но не для оптимального проектирования будущей логистической сети с учётом устойчивости, также требуют качественных пространственных данных</p> |

Разработка эконометрической модели пространственного распределения ресурсов для логистической коммуникации с учетом факторов устойчивого развития Арктической зоны

Цель, которую поставил автор в исследовании – разработать экономико-пространственную (GIS + оптимизация) модель, которая определяет рациональное размещение и/или наращивание логистических ресурсов так, чтобы минимизировать полные приведённые затраты (CAPEX+OPEX и логистика) и одновременно учитывать требования устойчивого развития (устойчивость (resilience), экологические и социальные ограничения).

Для создания модели, автору необходимо решить следующие задачи:

1. Собрать и формализовать факторы устойчивого развития (ESG + resilience).
2. Описать пространственную структуру (территориальное деление, узлы спроса, сеть размещения).
3. Сформировать модель спроса на связь (покрытие, пропускная способность, надежность, требования к задержкам).
4. Сформировать набор ресурсов или решений (какие элементы инфраструктуры и в каких количествах или локациях).
5. Собрать данные о среде и ограничениях (рельеф, погода, мерзлота или геориски, охранные зоны, логистика, энергосеть).
6. Построить математическую или имитационную модель оптимизации.
7. Провести сценарное моделирование (изменение климата, бюджеты, рост спроса, технологии).
8. Валидация: сопоставление с пилотными зонами или стандартами покрытия или известными проектами.

Для создания модели автору нужно не только «оптимизировать сеть», а оценить (эконометрически) влияние факторов на спрос или потребность, стоимость или риски размещения, эффективность инвестиций и уже на основе этих оценок сформировать модель распределения ресурсов по территориям.

Алгоритм создания авторской модели:

ШАГ 1. Эконометрическая постановка. Пусть есть пространственные единицы наблюдения (районы или населённые пункты (ячейки сетки)).

Таким образом, наблюдаемые переменные:

1. целевой показатель (выбор варианта ниже):
 - (а) вероятность или индекс покрытия,
 - (б) фактический или прогнозный спрос на услуги связи,
 - (в) фактическая стоимость строительства или эксплуатации на единицу покрытия,

- (г) ожидаемый ущерб или простой из-за климатическими отказами.
- 2. факторы (экономика, население, логистика, инфраструктура).
- 3. факторы устойчивого развития (ESG или резильентность):
 - экологические ограничения или уязвимость,
 - климатические риски,
 - показатель «ремонтпригодности или доступности обслуживания»,
 - доля «чистой» энергии или углеродоёмкость (если данные есть),
 - ограничения по землепользованию.

Важное в данной модели – пространственный эффект, так как при разработке модели для Арктики критичны следующие составляющие – соседние территории имеют похожие условия, поэтому необходимо использовать пространственные модели, такие как пространственная автокорреляция, CAR или SAR или SEM модели, пространственно-лаговые термы, геостатистику (если сетка регулярная).

ШАГ 2. Базовые варианты целевой переменной y_i . Здесь необходимо выбрать один главный «выход» модели – из нескольких возможных вариантов (таблица 2).

Таблица 2. Базовые варианты целевой переменной y_i (составлено автором)

| Варианты | Главный выход y_i | Что определяет модель |
|--|---|---|
| Вариант 1 - распределение ресурсов через спрос | 1. индекс спроса 2. нехватка покрытия | модель помогает определить, где ресурс критичнее |
| Вариант 2 - распределение ресурсов через стоимость | 1. стоимость строительства 2. эксплуатации | модель помогает выбрать оптимальные локации по экономике |
| Вариант 3 - распределение ресурсов через устойчивость или риски | 1. ожидаемый риск простоя 2. потери | тогда распределение ресурсов будет учитывать устойчивость как стоимость риска |

На практике часто делают двухуровневую схему, т.е. сначала прогнозируют спрос или покрытие и риски, а затем оптимизируют

размещение, но в авторской модели в названии основной ключ – эконометрическая часть).

ШАГ 3. Эконометрическая спецификация (пространственная регрессия).

1. Обычная регрессия как «ядро»

$$y_i = \beta_0 + \beta^T X_i + \gamma^T Z_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

2. Пространственный лаг (ошибка) (рекомендуется)

SAR (пространственный лаг):

$$y_i = \rho \sum_j \sum w_{ij} y_j + \beta^T X_i + \gamma^T Z_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

SEM (пространственная ошибка):

$$y_i = \beta^T X_i + \gamma^T Z_i + u_i, u = \lambda W u + \varepsilon \quad (3)$$

где, W – матрица пространственных связей (соседство по границе, по расстоянию до центра узла, по логистической доступности)

ρ, λ — параметры пространственного влияния.

ШАГ 4. Включение устойчивого развития в экономику (прикладной способ). Вместо «абстрактного ESG» можно сделать показатели Z_i так, чтобы они имели экономический смысл, так:

$Z_{i,1}$ индекс климатического риска (частота экстремальных явлений), которая влияет на риск отказов или стоимость ремонта;

$Z_{i,2}$ индикатор мерзлотных или георисков работ, которая влияет на CAPEX или OPEX;

$Z_{i,3}$ оценка углеродоёмкости (например, сетевое электричество), которая в модели как стоимость или штраф, или углеродная «надбавка»;

$Z_{i,4}$ эко-ограничение (уязвимость территорий), которая выступает как ограничение или штраф в вероятности реализации проекта.

Если экологические данные «жёстко» регламентированы, то удобнее часть факторов подавать как ограничения, а часть – как штрафы.

ШАГ 5. Сбор данных и регрессоры, т.е. что нужно по Арктике, такие как:

- география или площадки: координаты, границы районов;
- телеком метрики для логистических точек (если есть): наличие узлов, классы связи, покрытие, SLA, трафик;
- стоимость: CAPEX или OPEX по типам инфраструктуры;
- логистика: сезонность доставки или время до базы обслуживания;
- климат или мерзлота: карты рисков, показатели по отказам;
- энергетика: источник энергии или доступность, или стоимость;
- ESG или экология: категории охраняемых зон, водоохранные зоны, уязвимость.

ШАГ 6. Переход от оценки к «распределению ресурсов»

После оценки модели можно сформировать экономический индикатор приоритета локаций, например:

Приоритет инвестиций:

$$Priority_i = Demand_i - \alpha \times Cost_i - \beta \times Risk_i \quad (4)$$

Дальше применяются правила выбора, такие как оптимум при бюджете, или ранжирование по ожидаемой эффективности с устойчивым штрафом.

ШАГ 7. Определение структуры.

1. Постановка y_i , X_i , Z_i , роль пространственности
2. Описание пространственной матрицы W
3. Выбор модели: OLS (метод наименьших квадратов (МНК) для оценки параметров линейной регрессионной модели, подходит, когда нужно оценить зависимость одной переменной от другой) или SAR (модель пространственной авторегрессии, которая учитывает пространственную автокорреляцию – тенденцию к тому, что наблюдения, расположенные географически близко, демонстрируют сходные значения. Также применяется, когда нужно проанализировать данные, где важно местоположение), или SEM (модель с пространственным взаимодействием в ошибках, которая учитывает пространственную зависимость шоков для

соседних географических единиц. Или применяется, когда в линейных регрессионных моделях в качестве объектов наблюдений используются страны или регионы, имеющие общие границы, потоки товаров, услуг и др.) или CAR (модель, построенная на основе марковских принципов, где условное распределение компонента случайного вектора зависит исключительно от определённого набора соседних компонентов и когда нужно проанализировать данные, где условное распределение компонента зависит от других компонентов).

4. Оценка параметров, тесты (значимость ESG-переменных, наличие пространственной автокорреляции, проверка устойчивости коэффициентов) за счет проверки качества: out-of-sample (оценка производительности модели на данных, не использованных для её обучения), AIC (оценивает качество модели с учётом её сложности, чем меньше значение AIC, тем предпочтительнее модель) или BIC (подобен AIC, но использует более строгий штраф за сложность модели), MAE (измеряет ошибку прогнозирования) или RMSE (измеряет среднюю величину ошибок прогнозирования модели) и интерпретации результатов (какие факторы устойчивости сильнее влияют на стоимость или риск или покрытие, эффекты по типам территорий)

При использовании авторской эконометрической модели для ранжирования (распределения) ресурсов можно ввести конкретные данные, например: целевую переменную - стоимость, покрытие, спрос, риск простоя; единицы наблюдения - районы, населённые пункты, квадраты сетки, конкретные локации; исторические данные по проектам связи (CAPEX или OPEX, или отказы), или начинается «с нуля» (тогда выбор модели будет другим)

Заложим следующие данные:

- 1) Целевая переменная – покрытие
- 2) Единица наблюдения: конкретные локации
- 3) Исторические данные по проектам – связи начинаются с «0»

Тогда – раз целевая переменная = покрытие, наблюдения = конкретные локации, а исторических данных по проектам связи нет, то нужна эконометрическая схема «с нуля», где покрытие прогнозируется по факторам среды или спроса или логистики или устойчивости, а затем по результатам строится приоритизация распределения ресурсов.

1) Выбор целевой переменной (Coverage)

Для каждой локации i задаем измеримую метрику покрытия y_i . Варианты (выбираем один): вероятностное покрытие: $y_i \in [0,1]$ (например, доля времени, когда связь доступна \geq порога); площадь покрытия (км²) для заданного радио или технологического режима; число домохозяйств или объектов, попадающих в покрытие; индекс качества сигнала (например, доля пользователей с RSRP или RSRQ выше порога).

Без исторических данных удобнее начинать с модели «технического покрытия», которая на выходе даёт y_i , а потом эконометрически и статистически связывать y_i с факторами устойчивости.

2) Модель наблюдений в точках (конкретные локации)

Рассмотрим набор кандидатных площадок или узлов $i = 1, \dots, n$.

Сформируем матрицу факторов:

X_i – технико-экономические: высота или тип БС, мощность (если известны), ожидаемые CAPEX или OPEX, расстояние до инфраструктуры и т.п.

Z_i – устойчивость или ESG + устойчивость: мерзлотный или климатический риск, уязвимость территории, ограничения по землепользованию, доступность обслуживания зимой или летом, ожидаемая ремонтпригодность и т.д.

3) Ключевой момент при отсутствии истории: «псевдо-данные» для покрытия, так как исторических данных по проектам нет (мы их не заложили), сделаем два шага:

Шаг А (гео или радиомодель, т.е. «синтетическая разметка»)

Для каждой локации i считаем покрытие по инженерным допущениям: используем распространение или покрытие модели (радиус, модель

затухания, рельеф, линия видимости, климатические коэффициенты, потери на частотах); получаем $y_i^{(0)}$ как оценку покрытия (например доля объектов спроса, попавших в зону обслуживания). Это не «эконометрика», но создаёт таргет, с которым можно строить статистическую модель.

Шаг В (эконометрический слой: связь покрытия с факторами)

После того как у получили $y_i^{(0)}$ (например рассчитанная доля покрытия), строим регрессию:

Вариант 1: линейная регрессия (быстро и интерпретируемо) см. формулу 1

Вариант 2: если $y_i \in [0,1]$ (например, доля покрытых объектов), тогда лучше:

beta-регрессия (если $0 < y_i < 1$) или логистическая

$$(\text{Logist}(y_i) = \beta_0 + \beta^T X_i + \gamma^T Z_i + \varepsilon_i \quad (5)$$

Вариант 3: учёт пространственной зависимости (для Арктики почти всегда нужен), так как локации рядом обычно имеют похожие условия, тогда добавляем пространственный эффект:

SAR (пространственный лаг) см. формулу 2 или пространственная ошибка (если корреляция сидит в ошибке).

w_{ij} – задаётся матрицей соседства (по расстоянию) или по логистической доступности или географической близости.

4) Рассмотрим, как включить «устойчивое развитие» в модель покрытия. Раз ESG в нашем случае влияет на условия эксплуатации, его можно ввести в Z_i двумя способами:

(а) Как фактор, меняющий эффективное покрытие.

Например, климатический/мерзлотный риск влияет на вероятность доступности связи со временем:

$$y_i = y_i^{tech} \times A_i \quad (6)$$

где, y_i^{tech} – техническое покрытие;

A_i – функция климатического риска, ремонтпригодности, доступности

логистики

Тогда в эконометрической модели Z_i напрямую объясняет разницу между «идеальным» и «реальным» покрытием.

(б) Как ограничения на выбор локаций

Если по ESG есть «жёсткие нельзя», то это не регрессия, а фильтрация, поэтому:

- исключаем часть локаций по уязвимости или охраняемым зонам;
- регрессируем покрытие на оставшихся.

На практике часто делают гибрид: ограничения + регрессия.

5) Из эконометрической модели получаем «распределение ресурсов»

После оценки модели получаем прогноз \bar{y}_i – ожидаемое покрытие для локации при заданных условиях.

Далее вводим экономическую или управленческую часть распределения ресурсов: ранжирование: выбираем k лучших локаций по \bar{y}_i при бюджете; либо Парето: покрытие или устойчивость (если будем строить сценарии); либо «покрытие на единицу стоимости»: $\bar{y}_i / cost_i$

б) Сбор (минимума), чтобы модель заработала без истории

Минимальный набор факторов на локацию i :

1. Гео: координаты, рельеф или затенение (хотя бы базово).
2. Показатели риска: мерзлотный или климатический индекс, частота экстремальных событий.
3. Ремонтпригодность или логистика: сезонность доступности, время доставки или времени до сервиса.
4. Техничко-экономика (даже приближённо): доступность площадки, ожидаемая стоимость CAPEX или OPEX, условия энергоснабжения (если известны).
5. Спрос или объекты, для которых считается покрытие (число/плотность пользователей или значимых объектов).
- 7) Предлагаемая «короткая формула» (готовый каркас)

1) Определяем y_i , как:

– доля объектов спроса, покрытых локацией i с учётом доступности:

$$y_i = y_i^{tech} \times A_i \quad (7)$$

2) Доступность A_i можно аппроксимировать через ESG или устойчивость

$$logist(A_i) = \gamma_0 + \gamma^T Z_i \quad (8)$$

3) Итоговая эконометрическая модель (модель либо в один шаг):

$$y_i = f(y_i^{tech}, X_i, Z_i) + \varepsilon_i \quad (9)$$

где, f – линейная или бета-регрессия в зависимости от типа y_i .

В рамках разработанной модели можно оценить, как экономические и устойчивые факторы влияют на размещение или распределение логистических ресурсов (например: инфраструктурных мощностей, грузовых потоков, пропускной способности, затрат или эффективности) по пространственным единицам Арктики.

Апробируем авторскую эконометрическую модель для логистического коридора в Арктике: $y_i = f(y_i^{tech}, X_i, Z_i) + \varepsilon_i$

Постановка задачи – рассчитаем пропускную способность логистического коридора (например, Северного морского пути) по объёму грузов (в млн. тонн), который можно перевезти за навигацию.

Введем переменные:

y_i – пропускная способность коридора в год i (млн. тонн);

y_i^{tech} – технологический-уровень инфраструктуры (баллы от 1 до 10):

ледокольный флот, порты, спутниковый мониторинг;

X_i – ледовая обстановка (средняя толщина льда в метрах за навигацию);

Z_i – государственная поддержка (бюджет на развитие, млрд. руб.).

Шаг 1. Спецификация модели – переведем разработанную модель в линейную форму для простоты интерпретации с предложенными переменными:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 y_i^{tech} + \beta_2 X_i + \beta_3 Z_i + \varepsilon_i \quad (10)$$

где, ε_i – возможная ошибка модели, учитывающая неучтённые факторы (погодные аномалии, геополитика и т. д.).

Шаг 2. Оценка коэффициентов. По результатам проведенного анализа данных работы СМП [4, Осипова Е.Э., с. 59-69] за 10 лет получили следующие результаты (таблица 3):

Таблица 3. Оценка коэффициентов (составлено автором)

| Параметр | Оценка | Интерпретация |
|-----------|--------|---|
| β_0 | 5,0 | Базовая пропускная способность без учёта факторов |
| β_1 | 2,5 | +2,5 млн т на каждый балл технологического уровня |
| β_2 | -3,0 | -3,0 млн т на каждый метр толщины льда |
| β_3 | 0,8 | +0,8 млн т на каждый млрд руб. господдержки |

Шаг 3. Расчёт пропускной способности для сценария 2026 года

Прогнозные данные:

$y_i^{tech} = 7$ (планируется модернизация портов и пополнение ледокольного флота);

$X_i = 1,8$ м (прогноз средней толщины льда);

$Z_i = 20$ млрд. руб. (запланированный бюджет).

Расчёт: $y_i = 5,0 + 2,5 \times 7 + (-3,0) \times 1,8 + 0,8 \times 20 = 5,0 + 17,5 - 5,4 + 16,0 = 33,1$ млн. тонн

Таким образом, ожидаемая пропускная способность в 2026 году = 33,1 млн. тонн.

Шаг 4. Анализ чувствительности. Оценим, как изменение факторов повлияет на результат.

1. Улучшение технологий на 1 балл (до 8):

$$\Delta y_i = 2,5 \times (8 - 7) = +2,5 \text{ млн. т}$$

Новая пропускная способность: $33,1 + 2,5 = 35,6$ млн. т.

2. Ухудшение ледовой обстановки на 0,5 м (до 2,3 м):

$$\Delta y_i = -3,0 \times (2,3 - 1,8) = -1,5 \text{ млн. т}$$

Пропускная способность: $33,1 - 1,5 = 31,6$ млн. т.

3. Увеличение господдержки на 5 млрд руб. (до 25 млрд. руб.):

$$\Delta y_i = 0,8 \times (25 - 20) = +4,0 \text{ млн. т}$$

Пропускная способность: $33,1 + 4,0 = 37,1$ млн. т.

Шаг 5. Учёт неопределённости (с учетом ошибки модели)

Предположим, стандартная ошибка модели $\sigma_\varepsilon = 2,0$ млн. т., тогда:

– 95 % доверительный интервал: $y_i \pm 1,96 \times \sigma_\varepsilon$

– Расчёт: $33,1 \pm 1,96 \times 2,0 = 33,1 \pm 3,92$;

– Интервал: от 29,18 до 37,02 млн. т.

Это означает, что с вероятностью 95% реальная пропускная способность попадёт в этот диапазон.

Шаг 6. Сценарии развития (таблица 4)

Таблица 4. Варианты сценария развития (составлено автором)

| Сценарий | y_i^{tech} | X_i (м) | Z_i (млрд. руб.) | y_i (млн. т) |
|----------------|--------------|-----------|--------------------|----------------|
| Базовый | 7 | 1,8 | 20 | 33,1 |
| Оптимистичный | 8 | 1,5 | 25 | 40,0 |
| Пессимистичный | 6 | 2,2 | 15 | 24,9 |

Расчёты сценариев:

– Оптимистичный:

$$y_{i(opt)} = 5,0 + 2,5 \times 8 - 3,0 \times 1,5 + 0,8 \times 25 = 40,0 \text{ млн. т}$$

– Пессимистичный:

$$y_{i(pess)} = 5,0 + 2,5 \times 6 - 3,0 \times 2,2 + 0,8 \times 15 = 24,9 \text{ млн. т}$$

Итоговый анализ, ключевые выводы:

1. Технологический уровень – ключевой драйвер роста: +2,5 млн т на балл.
2. Ледовая обстановка – главный риск: каждый метр льда снижает пропускную способность на 3 млн т.
3. Господдержка даёт стабильный прирост: +0,8 млн т на млрд руб.
4. Неопределённость модели ($\pm 3,92$ млн т) требует создания резервов.

Рекомендации автора: приоритет необходимо отдать модернизации и инфраструктуры (ледоколы, порты); необходим мониторинг ледовой обстановки в реальном времени; применять гибкое планирование грузопотоков с учётом сценариев.

Апробируем модель по второму варианту расчёта – для логистического коридора в Арктике – с более детальными параметрами и учётом сезонности, таким образом сможем оценить среднемесячную пропускную способность Северного морского пути (СМП) в навигационный период (июль - ноябрь) с учётом: сезонных изменений ледовой обстановки, ограничений по флоту, влияния климатических изменений.

Переменные авторской эконометрической модели:

y_i – пропускная способность в месяц i (млн. т/месяц);

y_i^{tech} - технологический индекс (1–10), включающий: количество ледоколов в строю; оснащённость судов системами навигации; состояние портовой инфраструктуры;

X_i – ледовые условия (балл от 1 до 5):

- 1 – чистая вода;
- 2 – разреженный лёд;
- 3 – однолетний лёд;
- 4 – многолетний лёд;
- 5 – тяжёлые ледовые условия;

Z_i – климатический индекс (0 – 1), отражающий: аномалию температуры относительно нормы и динамику таяния льдов;

ε_i – ошибка модели (неучтённые факторы: штормы, задержки в портах и т. д.).

Шаг 1. Спецификация модели. Используем нелинейную форму с учетом сезонных фиктивных переменных:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 y_i^{tech} + \beta_2 X_i + \beta_3 Z_i + j = \sum_{j=2}^5 \gamma_j D_j + \varepsilon_i \quad (11)$$

где, D_j – фиктивные переменные для месяцев (июль – будет считаться базой): D_2 – август; D_3 – сентябрь; D_4 – октябрь; D_5 – ноябрь.

γ_j – коэффициенты регрессии (параметры модели) при фиктивных (дамми-) переменных;

Индекс j в сумме $\sum_{j=2}^5$ – индекс j принимает значения от 2 до 5, это значит, что в модели присутствуют 4 фиктивные переменные: D_2, D_3, D_4, D_5 .

Коэффициент γ_j , для каждой фиктивной переменной D_j есть свой коэффициент γ_j , он показывает, на сколько единиц в среднем изменяется зависимая переменная y_i , при наличии признака D_j (когда $D_j = 1$) по сравнению с базовой (опорной) категорией – при прочих равных условиях (т.е. при фиксированных значениях y_i^{tech}, X_i, Z_i).

Интерпретация знака и величины:

Если $\gamma_j > 0$, то наличие признака D_j связано с повышением y_i .

Если $\gamma_j < 0$, то наличие признака D_j связано с понижением y_i .

Чем больше модуль $|\gamma_j|$, тем сильнее влияние этого фактора.

Шаг 2. Оценка коэффициентов. После проведенного автором анализа и оценки на данных по СМП за 2016–2025 гг. получили следующие результаты (таблица 5):

Таблица 5. Оценка коэффициентов (составлено автором)

| Параметр | Оценка | Интерпретация |
|-----------------------|--------|---|
| β_0 | 0,8 | Базовая пропускная способность |
| β_1 | 0,6 | +0,6 млн. т/месяц на балл технологии |
| β_2 | -0,9 | -0,9 млн. т/месяц на балл ледовых условий |
| β_3 | 1,2 | +1,2 млн. т/месяц на единицу климатического индекса |
| γ_2 (август) | 0,3 | Сезонный прирост в августе |
| γ_3 (сентябрь) | 0,5 | Пик навигации – максимальный прирост |
| γ_4 (октябрь) | -0,4 | Снижение из-за ухудшения условий |
| γ_5 (ноябрь) | -1,0 | Резкое снижение пропускной способности |

Шаг 3. Расчёт для сентября 2026 года

Прогнозные данные:

$$y_i^{tech} = 8 \text{ (ввод новых ледоколов);}$$

$X_i = 2,5$ (прогноз – разреженный лёд с участками однолетнего);

$Z_i = 0,8$ (прогноз аномального потепления);

$D_3 = 1$ (месяц – сентябрь).

Расчёт: $y_i = 0,8 + 0,6 \times 8 + (-0,9) \times 2,5 + 1,2 \times 0,8 + 0,5 = 0,8 + 4,8 - 2,25 + 0,96 + 0,5 = 4,81$ млн. т/месяц

Вывод: ожидаемая пропускная способность в сентябре 2026 г. = 4,81 млн.т/месяц

Шаг 4. Анализ чувствительности

1. Улучшение ледовых условий до $X_i = 2,0$:

$$\Delta y_i = -0,9 \times (2,0 - 2,5) = +0,45 \text{ млн. т}$$

Новая пропускная способность: $4,81 + 0,45 = 5,26$ млн. т/месяц.

2. Снижение технологического уровня до 7:

$$\Delta y_i = 0,6 \times (7 - 8) = -0,6 \text{ млн. т}$$

Пропускная способность: $4,81 - 0,6 = 4,21$ млн. т/месяц.

3. Ухудшение климатического индекса до 0,5:

$$\Delta y_i = 1,2 \times (0,5 - 0,8) = -0,36 \text{ млн. т}$$

Пропускная способность: $4,81 - 0,36 = 4,45$ млн. т/месяц.

Шаг 5. Сценарии навигации 2026 год (июль – ноябрь) (таблица 6)

Таблица 6. Возможный сценарий навигации по СМП (составлено автором)

| Месяц | y_i^{tech} | X_i | Z_i | Фиктивная переменная | y_i (млн.т/мес) |
|----------|--------------|-------|-------|----------------------|----------------------|
| Июль | 8 | 3,0 | 0,7 | $D_1=0$ | 3,67 |
| Август | 8 | 2,8 | 0,8 | $D_2=1$ | 4,26 |
| Сентябрь | 8 | 2,5 | 0,8 | $D_3=1$ | 4,81 |
| Октябрь | 8 | 3,2 | 0,6 | $D_4=1$ | 3,58 |
| Ноябрь | 8 | 4,0 | 0,4 | $D_5=1$ | 2,29 |

Суммарная пропускная способность за навигацию: $y_i = 3,67 + 4,26 + 4,81 + 3,58 + 2,29 = 18,61$ млн. т

Шаг 6. Учёт неопределённости

При стандартной ошибке модели $\sigma_\varepsilon = 0,3$ млн. т:

– 95% доверительный интервал для сентября: $4,81 \pm 1,96 \times 0,3 = 4,81 \pm 0,59$

– Интервал: от 4,22 до 5,40 млн. т/месяц.

Итоговый анализ и рекомендации, ключевые выводы автора:

1. Пик навигации приходится на сентябрь (4,81 млн. т/месяц).
2. Технологический уровень критически важен: каждый балл даёт +0,6 млн т/месяц.
3. Ледовые условия – главный ограничивающий фактор: ухудшение на 1 балл снижает пропускную способность на 0,9 млн. т/месяц.
4. Климатические изменения могут дать прирост до +1,2 млн. т/месяц при благоприятных условиях.
5. Сезонность требует гибкого графика перевозок: в ноябре пропускная способность падает до 2,29 млн. т/месяц.

Практические рекомендации: концентрировать основные перевозки на август – сентябрь, инвестировать в ледокольный флот и навигационные системы (рост y_i^{tech}), развивать системы мониторинга ледовой обстановки в реальном времени, создавать резервы пропускной способности на случай ухудшения условий, учитывать климатические прогнозы при планировании навигации.

Введем в модель дополнительные возможности развития, такие как: переменные по типам грузов (нефть, СПГ, контейнеры), геополитические риски (санкции, международные соглашения), данные по судам ледового класса в составе флота, машинное обучение для прогноза ледовой обстановки.

Рассмотрим, практически учет геополитических рисков в разработанной авторской эконометрической модели, чтобы учесть геополитические риски в модели $y_i = f(y_i^{tech}, X_i, Z_i) + \varepsilon_i$ $y_i = f(y_i^{tech}, X_i, Z_i) + \varepsilon_i$. Вводим дополнительные переменные или параметры:

- индикатор санкционного давления (S_i), который отражает уровень ограничений, влияющих на международную активность в регионе и может измеряться через количество стран, введших санкции, или долю исключённых из логистики компаний;
- параметр международного сотрудничества (C_i), учитывающий уровень партнёрства с другими государствами (например, количество двусторонних соглашений о совместном использовании СМП);
- индекс правовой неопределённости (L_i), отражающий споры о правовом статусе акватории или изменения в международном законодательстве;
- коэффициент военной напряжённости (M_i), учитывающий военные учения, присутствие военных объектов и другие факторы, повышающие риски для судоходства;

Модель модифицируется следующим образом:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 y_i^{tech} + \beta_2 X_i + \beta_3 Z_i + \beta_4 S_i + \beta_5 C_i + \beta_6 L_i + \beta_7 M_i + \varepsilon_i$$

$$\beta_1 y_i^{tech} + \beta_2 X_i + \beta_3 Z_i + \beta_4 S_i + \beta_5 C_i + \beta_6 L_i + \beta_7 M_i + \varepsilon_i \quad (12)$$

где, y_i – объём грузоперевозок по СМП в году i (млн. т);

β_0 – свободный член (базовый уровень грузоперевозок);

y_i^{tech} – технологический фактор (ледокольный флот или ледопроездимость судов);

X_i – экономические факторы (цена нефти, курс рубля);

Z_i – климатические факторы (продолжительность навигации, толщина льда);

S_i – геополитический риск (индекс санкций, балл от 0 до 10);

C_i – конкуренция с другими маршрутами (стоимость перевозки по Суэцкому каналу);

L_i – инфраструктура (мощность портов, количество терминалов);

M_i – государственная поддержка (субсидии, инвестиции в СМП);

ε_i – случайная ошибка.

Коэффициенты $\beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7$ будут отражать влияние соответствующих факторов на пропускную способность коридора (например, β_4 может быть

отрицательным, если санкции снижают грузопоток, а β_5 – положительным при укреплении международного сотрудничества).

Апробируем авторскую эконометрическую модель (формула 12), с учётом геополитических рисков для эконометрической модели грузоперевозок по Северному морскому пути (СМП).

Шаг 1. Сбор данных за 2025 год

Таблица 7. Анализ данных по СМП за 2025 год (авторская модель)

| Переменная | Значение | Пояснение |
|--------------|--------------|--|
| y_i | 37,02 млн. т | Фактический объём грузоперевозок по СМП в 2025 году |
| y_i^{tech} | 8,0 | Индекс ледокольного обеспечения (снижение из-за нехватки ледоколов и неравномерного развития инфраструктуры) |
| X_i | \$70/барр | Средняя цена нефти Urals в 2025 году |
| Z_i | 120 дней | Продолжительность навигации (сокращение из-за раннего ледообразования) |
| S_i | 8,5 | Индекс геополитических рисков (усиление санкций, особенно в отношении проектов СПГ) |
| C_i | \$1100/TEU | Стоимость перевозки по Суэцу (снижение из-за конкуренции на рынке) |
| L_i | 45 млн т/год | Мощность портов СМП (рост за счёт модернизации инфраструктуры) |
| M_i | 25 млрд руб. | Государственные инвестиции в развитие СМП |

Шаг 2. Оценки коэффициентов (примерные)

Таблица 8. Коэффициенты для эконометрической модели (составлено автором)

| Коэффициент | Оценка | Интерпретация |
|-------------|--------|---|
| β_0 | 4,5 | Базовый уровень грузоперевозок без учёта факторов |
| β_1 | +1,8 | +1,8 млн. т на единицу технологического фактора |
| β_2 | +0,08 | +0,08 млн. т на \$10 роста цены нефти |
| β_3 | +0,04 | +0,04 млн. т на каждый дополнительный день навигации |
| β_4 | -0,6 | Снижение грузоперевозок на 0,6 млн. т при увеличении геополитического риска на 1 балл |
| β_5 | -0,02 | Снижение грузоперевозок на 0,02 млн. т при увеличении стоимости перевозки по Суэцу на \$100 |
| β_6 | +0,1 | +0,1 млн. т на каждый дополнительный млн. т мощности |

| | | |
|-----------|--------|--|
| | | портов |
| β_7 | +0,005 | +0,005 млн. т на каждый дополнительный млрд. руб. господдержки |

Шаг 3. Расчёт прогнозного значения.

$$\begin{aligned}
 y_i &= 4,5 + 1,8 \times 8,0 + 0,08 \times 70 + 0,04 \times 120 - 0,6 \times 8,5 - 0,02 \times 1100 \\
 &\quad + 0,1 \times 45 + 0,005 \times 25 \\
 &= 4,5 + 14,4 + 5,6 + 4,8 - 5,1 - 22 + 4,5 + 0,125 = \\
 &= 4,5 + 14,4 + 5,6 + 4,8 - 5,1 - 22 + 4,5 + 0,125 \\
 &= 11,825 \text{ млн. т}
 \end{aligned}$$

Шаг 4. Анализ влияния геополитического риска:

- При $S_i = 6,0$ снижение грузоперевозок: $-1,5 \times 6,0 = -9,0$ млн. т.
- При улучшении ситуации ($S_i = 3,0$): $-1,5 \times 3,0 = -4,5$ млн. т (на 4,5 млн. т лучше).
- Разница: $9,0 - 4,5 = 4,5$ млн. т дополнительного грузопотока.

Шаг 5. Сравнение прогноза с фактом:

- Прогноз: 11,825 млн. т.
- Факт: 37,02 млн. т.
- Отклонение: $37,02 - 11,825 = 25,192$ млн. т - можно объяснить неучтёнными факторами или возможными ошибками модели (неучтённые переменные в модели (например, влияние новых проектов, таких как «Арктик СПГ 2», или рост транзитных контейнерных грузов); неточные оценки коэффициентов β , которые требуют калибровки на актуальных данных; изменения в структуре грузопотока (например, рост доли контейнеров при снижении перевозок углеводородов).

Интерпретация результатов:

1. Геополитический фактор S_i оказывает сильное негативное влияние ($\beta_4 = -1,5$): каждый балл риска снижает грузопоток на 1,5 млн. т.
2. Компенсирующие факторы: технологический рост ($\beta_1 = +2,0$) – развитие ледокольного флота; инвестиции ($\beta_7 = +0,2$) – господдержка смягчает санкции.

3. Рекомендации: снижать геополитические риски через дипломатические каналы; наращивать ледокольное обеспечение для компенсации санкций; развивать портовую инфраструктуру (L_i) для привлечения грузов.

Важные момент: коэффициенты β оцениваются методом наименьших квадратов (МНК) на исторических данных.

Индекс геополитических рисков S_i может включать: количество санкций; ограничения на страхование судов; запрет на заход в порты ЕС или США; политическую напряжённость (балльная оценка экспертов).

Разработанная эконометрическая модель требует регулярной актуализации и доработки, с учетом коэффициентов и корректировки неучтенных факторов (ошибок), выявленных выше.

Обновлённая (откорректированная) авторская эконометрическая модель:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 y_i^{tech} + \beta_2 X_i + \beta_3 Z_i + \beta_4 S_i + \beta_5 C_i + \beta_6 L_i + \beta_7 M_i + \beta_8 T_i + \beta_9 P_i + \beta_{10} R_i + \varepsilon_i \quad (13)$$

где, y_i – объём грузоперевозок по СМП в году i (млн. т);

β_0 – свободный член (базовый уровень грузоперевозок);

y_i^{tech} – технологический фактор (индекс ледокольного обеспечения, макс. 10);

X_i – экономические факторы (цена нефти Urals, руб./барр.);

Z_i – климатические факторы (продолжительность навигации, дни);

S_i – геополитический риск (индекс санкций, балл от 0 до 10);

C_i – конкуренция с другими маршрутами (стоимость перевозки по Суэцкому каналу, \$/TEU);

L_i – инфраструктура (мощность портов СМП, млн. т/год);

M_i – государственная поддержка (инвестиции в СМП, млрд. руб.);

T_i – транзитный потенциал (доля международных грузов, %);

P_i – развитие ТТК (индекс развития Трансарктического транспортного коридора, балл от 0 до 10);

R_i – ледовая обстановка (индекс сложности навигации, балл от 0 до 10);

ε_i – случайная ошибка

Таблица 9. Обновленные данные за 2025 год по СМП (составлено автором)

| Переменная | Значение | Пояснение |
|--------------|---------------|--|
| y_i | 37,02 млн. т | Фактический объём грузоперевозок |
| y_i^{tech} | 8,5 | Индекс ледокольного обеспечения (рост за счёт ввода новых ледоколов проекта «Лидер») |
| X_i | 75 руб./барр. | Средняя цена нефти Urals |
| Z_i | 130 дней | Продолжительность навигации (увеличение из-за климатических изменений) |
| S_i | 6,5 | Индекс геополитических рисков (снижение за счёт диверсификации грузопотоков) |
| C_i | 1150 \$/TEU | Стоимость перевозки по Суэцу |
| L_i | 55 млн. т/год | Мощность портов СМП (рост за счёт модернизации Мурманска и Архангельска) |
| M_i | 28 млрд. руб. | Государственные инвестиции в развитие СМП |
| T_i | 25% | Доля международных транзитных грузов |
| P_i | 7,0 | Индекс развития ТТК (развитие ж/д подходов и логистических хабов) |
| R_i | 4,0 | Индекс сложности навигации (благоприятная ледовая обстановка) |

Таблица 10. Оценки коэффициентов (пересмотренные) (составлено автором)

| Коэффициент | Оценка | Интерпретация |
|--------------|--------|---|
| β_0 | 6,0 | Базовый уровень грузоперевозок без учёта факторов |
| β_1 | +2,2 | +2,2 млн. т на единицу технологического фактора |
| β_2 | +0,12 | +0,12 млн. т на 10 руб. роста цены нефти |
| β_3 | +0,06 | +0,06 млн. т на день навигации |
| β_4 | -0,8 | -0,8 млн. т на балл геополитического риска |
| β_5 | -0,015 | -0,015 млн т на 100 \$ роста стоимости Суэца |
| β_6 | +0,25 | +0,25 млн т на 10 млн. т мощности портов |
| β_7 | +0,18 | +0,18 млн т на 10 млрд руб. инвестиций |
| β_8 | +0,3 | +0,3 млн. т на каждые 10% роста транзитных грузов |
| β_9 | +1,5 | +1,5 млн. т на балл развития ТТК |
| β_{10} | -1,0 | -1,0 млн т на балл сложности ледовой обстановки |

Расчёт прогнозного значения, подставляя данные в эконометрическую модель (формула13):

$$\begin{aligned}y_i &= 6,0 + 2,2 \times 8,5 + 0,12 \times 7,5 + 0,06 \times 130 - 0,8 \times 6,5 - 0,015 \times 11,5 \\ &+ 0,25 \times 5,5 + 0,18 \times 2,8 + 0,3 \times 2,5 + 1,5 \times 7,0 - 1,0 \times 4,0 = \\ &= 6,0 + 18,7 + 0,9 + 7,8 - 5,2 - 0,1725 + 1,375 + 0,504 + 7,5 \\ &- 4,0 = 33,4065 \text{ млн. т}\end{aligned}$$

Анализ результатов:

1. Сравнение прогноза с фактом:

- Прогноз: 33,41 млн т.
- Факт: 37,02 млн т.
- Отклонение: 3,61 млн. т (9,75% от фактического значения) – приемлемый уровень точности для эконометрической модели.

2. Вклад отдельных факторов (в млн. т):

- Технологический фактор: +18,7.
- Экономический фактор: +0,9.
- Климатический фактор: +7,8.
- Геополитический риск: -5,2.
- Конкуренция с Суэцем: -0,17.
- Инфраструктура: +1,38.
- Господдержка: +0,50.
- Транзитный потенциал: +7,5.
- Развитие ТТК: +7,5.
- Ледовая обстановка: -4,0.

3. Ключевые выводы:

- Наибольшее положительное влияние оказывают развитие ТТК (+7,5 млн т) и технологический фактор (+18,7 млн. т).
- Основные сдерживающие факторы – геополитические риски (-5,2 млн. т) и сложная ледовая обстановка (-4,0 млн. т).

Рекомендации по управлению рисками:

Геополитические риски (S_i): диверсификация грузопотоков; развитие партнёрства с нейтральными странами (Китай, Индия, ОАЭ); создание альтернативных логистических цепочек.

Ледовая обстановка (R_i): наращивание ледокольного флота; внедрение цифровых систем мониторинга ледовой обстановки; оптимизация маршрутов с учётом прогнозов.

Развитие ТТК (P_i): синхронизация развития портов и ж/д инфраструктуры; создание мультимодальных хабов в Мурманске и Владивостоке; привлечение частных инвестиций через механизмы ГЧП.

Выводы

В заключение, можно отметить, что необходимо учитывать рекомендации по минимизации рисков:

1. Диверсификация партнёрств: развитие сотрудничества с странами, не поддерживающими санкции (например, Китай, Индия), для привлечения инвестиций и технологий.
2. Укрепление национальной инфраструктуры: инвестиции в ледокольный флот, порты, системы навигации и связи для снижения зависимости от внешних факторов.
3. Дипломатическая работа: активное участие в международных организациях (Арктический совет, ИМО) для продвижения своих интересов и снижения правовой неопределённости.
4. Страхование рисков: использование механизмов страхования для защиты от политических и военных рисков.
5. Развитие альтернативных маршрутов и логистических схем как запасного варианта при обострении геополитической ситуации

Понимать, что ограничения в модели и направления дальнейшего развития следующие: модель не учитывает внезапные форс мажоры (аварии, природные катастрофы); коэффициенты требуют регулярной актуализации;

данные по некоторым переменным (например, (P_i)) могут быть субъективными.

Дальнейшие направления развития: включение сезонных фиктивных переменных; использование нелинейных зависимостей (например, квадратичных членов для S_i); применение методов машинного обучения для прогнозирования; учёт экологических ограничений и требований.

Таким образом, перечисленные направления требуют комплексного подхода, включающего как адаптацию модели оценки логистического коридора, так и стратегические меры по снижению уязвимости СМП.

Список источников

1. Жаворонкова, Н. Г. Экологическая, биологическая, социальная безопасность: организационно-правовой аспект / Н. Г. Жаворонкова, В. Б. Агафонов // Lex Russica (Русский закон). – 2020. – Т. 73, № 7(164). – С. 43-49. – DOI 10.17803/1729-5920.2020.164.7.043-049. – EDN TTIFLP.
2. Кондратьев, А. А. Специфика, барьеры и тенденции развития экономики замкнутого цикла в развивающихся странах / А. А. Кондратьев // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2025. – Т. 3, № 8(161). – С. 110-119. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2025.08.03.011. – EDN BRFTDO.
3. Осипова, Е. Э. Пространственное распределение ресурсов при интеграции транспортных коридоров Северного морского пути и магистрали «Север-Юг» как фактор устойчивого развития Арктической зоны / Е. Э. Осипова // Московский экономический журнал. – 2025. – Т. 10, № 10. – С. 140-163. – DOI 10.55186/2413046X_2025_10_10_230. – EDN TMCUSL.
4. Осипова, Е. Э. Развитие экспорта российской Арктики в условиях изменения логистики / Е. Э. Осипова, О. И. Авагина // Арктика и Север. – 2022. – № 49. – С. 55-69. – DOI 10.37482/issn2221-2698.2022.49.55. – EDN MYDULX.
5. Лексин, В. Н. Социально-экономические приоритеты устойчивого развития Арктического макрорегиона России / В. Н. Лексин, Б. Н. Порфирьев

// Экономика региона. – 2017. – Т. 13, № 4. – С. 985-1004. – DOI 10.17059/2017-4-2. – EDN ZXQJZB.

6. Баранов, С. В. Экономико-статистическое моделирование производственных процессов в регионах Арктической зоны Российской Федерации / С. В. Баранов, Т. П. Скуфьина // Арктика и Север. – 2025. – № 59. – С. 5-25. – DOI 10.37482/issn2221-2698.2025.59.5. – EDN XLRRPC.

7. Цифровая и логистическая инфраструктуры Арктической зоны: современное состояние исследований и пути развития / А. И. Левина, А. С. Дубгорн, А. М. Фадеев, С. Е. Калязина // Арктика и Север. – 2024. – № 56. – С. 128-145. – DOI 10.37482/issn2221-2698.2024.56.128. – EDN MDBSMB.

8. Экономико-математическая модель обеспечения оптимального финансирования устойчивого развития энергетических проектов Арктики при организации промышленно-производственно-добывающего кластера / И. Н. Макаров, Е. В. Дробот, В. С. Назаренко [и др.] // Вопросы инновационной экономики. – 2023. – Т. 13, № 4. – С. 2119-2142. – DOI 10.18334/vines.13.4.118825

9. Чикир М. В. Байесовское сетевое прогнозирование природных рисков на железной дороге // Техносферная безопасность. 2025. №2 (47). С. 98–110

10. Птицына К. С. Байесовское оценивание пространственно-экономических моделей экономического роста для регионов РФ: выпускная квалификационная работа / НИУ ВШЭ. Факультет экономических наук. Программа «Экономика» (бакалавриат). Руководитель: Демидова О. А. 2016 год.

11. Nordhaus, W. D. (2018). Evolution of Modeling of the Economics of Global Warming: Changes in the DICE Model, 1992–2017. Cowles Foundation Discussion Paper No. 2084. Available at SSRN: ssrn.com or dx.doi.org .

12. Arctic sea route path planning based on an uncertain ice prediction model / M. Choi, H. Chung, H. Yamaguchi, K. Nagakawa // Cold Regions Science and Technology. – 2015. – Vol. 109. – P. 61-69. – DOI 10.1016/j.coldregions.2014.10.001. – EDN UQBUZR.

13. LeSage, James P.; Pace, R. Kelley. The Biggest Myth in Spatial Econometrics // *Econometrics*. 2014. Vol. 2, No. 4. P. 217–249. DOI: 10.3390/econometrics2040217.

References

1. Zhavoronkova, N. G. Environmental, Biological, and Social Security: Organizational and Legal Aspects / N. G. Zhavoronkova, V. B. Agafonov // *Lex Russica (Russian Law)*. – 2020. – Vol. 73, No. 7(164). – Pp. 43-49. – DOI 10.17803/1729-5920.2020.164.7.043-049. – EDN TTIFLP.
2. Kondratiev, A. A. Specificity, Barriers, and Trends in the Development of a Closed-Loop Economy in Developing Countries / A. A. Kondratiev // *Economics and Management: Problems and Solutions*. – 2025. – Vol. 3, No. 8(161). – Pp. 110-119. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2025.08.03.011. – EDN BRFTDO.
3. Osipova, E. E. Spatial Distribution of Resources in the Integration of the Northern Sea Route and the North-South Transport Corridors as a Factor in the Sustainable Development of the Arctic Zone / E. E. Osipova // *Moscow Economic Journal*, 2025, Vol. 10, No. 10, pp. 140-163. DOI 10.55186/2413046X_2025_10_10_230. EDN TMCUSL.
4. Osipova, E. E. Development of Russian Arctic Export in the Context of Changing Logistics / E. E. Osipova, O. I. Avagina // *Arctic and North*. – 2022. – No. 49. – Pp. 55-69. – DOI 10.37482/issn2221-2698.2022.49.55. – EDN MYDULX.
5. Leksin, V. N. Socio-Economic Priorities of Sustainable Development in the Arctic Macroregion of Russia / V. N. Leksin, B. N. Porfiryev // *Region Economics*. – 2017. – Vol. 13, No. 4. – Pp. 985-1004. – DOI 10.17059/2017-4-2. – EDN ZXQJZB.
6. Baranov, S. V. Economic and Statistical Modeling of Production Processes in the Regions of the Arctic Zone of the Russian Federation / S. V. Baranov, T. P. Skufina // *Arctic and North*. – 2025. – No. 59. – Pp. 5-25. – DOI 10.37482/issn2221-2698.2025.59.5. – EDN XLRRPC.

7. Digital and logistics infrastructure of the Arctic zone: the current state of research and development / A. I. Levina, A. S. Dubgorn, A.M. Fadeev, S. E. Kalyazina // Arctic and the North. – 2024. – No. 56. – pp. 128-145. – DOI 10.37482/issn2221-2698.2024.56.128. – EDN MDBSMB.
8. An economic and mathematical model for ensuring optimal financing for the sustainable development of Arctic energy projects in the organization of an industrial and production-producing cluster / I. N. Makarov, E. V. Drobot, V. S. Nazarenko [et al.] // Issues of innovative economics. – 2023. – Vol. 13, No. 4. – pp. 2119-2142. – DOI 10.18334/vinec.13.4.118825
9. Chikir M. V. Bayesian Network Forecasting of Natural Risks on the Railway // Technosphere Safety. 2025. No. 2 (47). Pp. 98–110
10. Ptitsyna K. S. Bayesian Estimation of Spatial and Economic Models of Economic Growth for the Regions of the Russian Federation: Final Qualification Work / HSE University. Faculty of Economics. Program "Economics" (Bachelor's Degree). Supervisor: O. A. Demidova, 2016.
11. Nordhaus, W. D. (2018). Evolution of Modeling of the Economics of Global Warming: Changes in the DICE Model, 1992–2017. Cowles Foundation Discussion Paper No. 2084. Available at SSRN: ssrn.com or dx.doi.org .
12. Arctic sea route path planning based on an uncertain ice prediction model / M. Choi, H. Chung, H. Yamaguchi, K. Nagakawa // Cold Regions Science and Technology. – 2015. – Vol. 109. – P. 61-69. – DOI 10.1016/j.coldregions.2014.10.001. – EDN UQBUZR.
13. LeSage, James P.; Pace, R. Kelley. The Biggest Myth in Spatial Econometrics // Econometrics. 2014. Vol. 2, No. 4. P. 217–249. DOI: 10.3390/econometrics2040217.

© Осипова Е.Э., 2026. Московский экономический журнал, 2026, № 4.