

<https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2024-2-16>

УДК 656.7.025

JET R4

И. О. Полешкина  

Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Российская Федерация

Прогнозирование пассажиропотоков социально значимых авиационных маршрутов внутри арктического региона¹

Аннотация. Арктические регионы России отличаются низким уровнем развития круглогодично действующих наземных путей сообщения. В этих условиях воздушный транспорт является основой пассажирских перевозок. Однако в настоящее время уровень авиационной подвижности населения этих регионов существенно отстает от общероссийского. В статье обоснована необходимость повышения уровня транспортной доступности арктических регионов за счет развития внутренней сети социально значимых авиационных маршрутов. План развития маршрутной сети предлагается разрабатывать на основе прогнозирования пассажиропотоков по действующим и потенциальным авиационным маршрутам внутри арктического региона. В качестве метода прогнозирования пассажиропотоков по действующим маршрутам используется модель множественной регрессии, на основе которой разработана методика двухуровневого прогнозирования. Данная методика позволяет на первом уровне рассчитать пассажиропоток, формируемый на местных маршрутах между отдаленными населенными пунктами и центром арктического района, на втором уровне – с учетом результатов первого уровня спрогнозировать пассажиропоток между центрами арктических районов и основным аэропортом региона, из которого выполняются прямые рейсы за пределы региона. Для прогнозирования пассажиропотоков по новым потенциальным маршрутам разработана вероятностная модель количества совершаемых полетов одним жителем в год на основании анализа сложившихся социально-экономических связей, целей совершения перелета и существующей инфраструктуры в начальной и конечной точках маршрута. Результаты прогнозирования пассажиропотоков существующих маршрутов показывают, что для повышения авиационной подвижности населения необходимо обеспечить увеличение частоты и регулярности выполнения местных рейсов за счет оптимизации парка воздушных судов. Результаты прогнозирования пассажиропотоков новых потенциальных маршрутов доказывают необходимость открытия субсидируемых прямых рейсов между центрами соседних арктических районов, в которых имеются определенные объекты социальной инфраструктуры.

Ключевые слова: воздушный транспорт, арктический регион, малая авиация, пассажирские авиаперевозки, авиационная подвижность населения, транспортная доступности, социально значимые маршруты, прогнозирование пассажиропотоков

Благодарности: *Выражаем глубокую благодарность генеральному директору авиакомпании «Полярные авиалинии» Винокурову Семену Николаевичу за организацию перелетов в Республике Саха (Якутия) при проведении исследований, также выражаем благодарность заместителю летного директора Семенову Семену Николаевичу за активное содействие в организации полевых исследований.*

Для цитирования: Полешкина, И. О. (2024). Прогнозирование пассажиропотоков социально значимых авиационных маршрутов внутри арктического региона. *Экономика региона*, 20(2), 591-607. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2024-2-16>

¹ © Полешкина И. О. Текст. 2024.

Forecasting Passenger Traffic of Socially Significant Air Routes Within the Arctic Region

Abstract. The Russian Arctic is characterised by the poor development of year-round land routes. In these conditions, air transport is the basis of passenger traffic. However, air mobility of the population in the Arctic regions is significantly lower than that of Russia in general. The article substantiates the need to increase transport accessibility of the Arctic by developing an internal network of socially significant air routes. To create a route network plan, it is necessary to forecast passenger traffic on existing and potential air routes within the Arctic region. To this end, a multiple regression model was used to develop a two-level forecasting approach. At the first level, the proposed method was applied to calculate local passenger traffic between remote settlements and the centre of the Arctic region. At the second level, the findings were examined to forecast passenger traffic between the centres of the Arctic regions and the main airport with direct flights to other regions. To predict passenger flows on potential routes, a probabilistic model of the number of flights by one resident per year was constructed based on an analysis of existing socio-economic relations, purpose of the flight and the existing infrastructure at the start and end points of the route. According to the results of forecasting passenger traffic on existing routes, it is necessary to increase the frequency and regularity of local flights by optimising the aircraft fleet in order to increase the population's air mobility. At the same time, the results of passenger traffic forecasting on potential routes confirmed the need for subsidised direct flights between the centres of neighbouring Arctic regions with certain social infrastructure facilities.

Keywords: air transport, Arctic region, small aircraft, passenger air transportation, air mobility of the population, transport accessibility, socially significant routes, passenger traffic forecasting

Acknowledgments: *The author would like to express deep gratitude to Semen Nikolaevich Vinokurov, General Director of Polar Airlines, for organising flights in the Republic of Sakha (Yakutia) while conducting research; the author also would like to thank Semen Nikolaevich Semenov, Deputy Flight Director, for his active assistance in organising field research.*

For citation: Poleshkina, I. O. (2024). Forecasting Passenger Traffic of Socially Significant Air Routes Within the Arctic Region. *Ekonomika regiona / Economy of regions*, 20(2), 591-607. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2024-2-16>

Введение

Обеспечение транспортной доступности арктических территорий РФ является важной стратегической задачей, закрепленной в Стратегии пространственного развития, Транспортной стратегии, Стратегии развития Арктической зоны РФ (АЗРФ) и др. По уровню развития транспортной системы территорию российской Арктики целесообразно разделить на Западную и Восточную Арктику. Для западных регионов (за исключением Ненецкого автономного округа) характерно наличие достаточно разветвленной сети автомобильных и железных дорог круглогодичного использования. В Восточной Арктике (Красноярского края, Республики Саха (Якутия) и Чукотского автономного округа) отсутствует железнодорожное и круглогодично действующее автомобильное сообщение, что определяет безальтернативность мультимодальных многоступенчатых схем доставки грузов (Митрюкова, 2023; Грузинов, 2019). Воздушный транспорт явля-

ется безальтернативным в выполнении круглогодичных пассажирских перевозок.

Как западная, так и восточная части АЗРФ существенно отстают от среднероссийского уровня развития транспортной системы. Это обусловлено экстремальными природно-климатическими условиями, низкой плотностью населения и большой площадью территорий, что определяет высокую стоимость строительства и эксплуатации транспортной инфраструктуры (Серова, 2021; Egorova, 2023). Климатические изменения, происходящие в Арктике, увеличивают риски разрушения транспортной системы и изменяют сроки сезонной эксплуатации водных путей и автозимников (Hjort, 2018; Лексин, 2022).

Авиасообщение обеспечивает получение социально значимых услуг (медицинского обслуживания, образования, доступности продовольствия), освоение полезных ископаемых, обслуживание Северного морского пути, охрану национальной безопасности страны (Полешкина, 2022).

Опыт развитых стран показывает, что организация авиасообщений в арктических регионах невозможна без государственной поддержки в связи с высокой стоимостью содержания аэропортовой инфраструктуры, сложностями доставки топлива и недостаточным для окупаемости затрат пассажиропотоком (Сузанский, 2022; Pot, 2022; Tretheway, 2021). Недостаточная частота выполнения воздушных рейсов приводит к транспортной дискриминации арктических регионов (Егорова, 2020; Егорова, 2022; Неретин, 2019; Poleshkina, 2023).

Необходима разработка научных методов обоснования потребности развития элементов системы воздушного транспорта, которые позволят найти баланс между объемом вкладываемых государственных средств и достаточным для обеспечения социальных гарантий уровнем авиационной доступности арктических территорий.

Обзор методов прогнозирования авиационных пассажиропотоков

Потребность развития элементов системы воздушного транспорта определяется на основе прогнозирования пассажиропотоков. Для арктических регионов большой интерес представляет прогнозирование индуцированного спроса или дополнительного спроса, возникающего в следствии увеличения предложения и снижения цены (Анисимов, 2022).

Основное влияние на формирование внутрирегиональных авиационных пассажиропотоков оказывают наличие альтернативных видов транспорта, время и стоимость перелета. Поэтому для их прогнозирования необходим анализ топологической структуры транспортной системы региона (Тархов, 2018; Тархов, 2019).

Методы прогнозирования авиационных пассажиропотоков можно разделить на две группы: прогнозы временных рядов и причинно-следственные модели. Прогнозы временных рядов не учитывают влияние внешних факторов и могут применяться только в стабильных социально-экономических системах. Среди причинно-следственных моделей наиболее распространены являются регрессионный анализ, гравитационные и аналоговые модели. Последние два типа моделей наиболее широко применимы к прогнозированию пассажиропотоков по новым маршрутам (Жуков, 2020; Светов, 2016).

В силу ярко выраженных особенностей арктических регионов построение регрессионных многофакторных моделей прогнозирования авиационных пассажиропотоков по действующим маршрутам при наличии ретроспектив-

ных данных для анализа является наиболее эффективным (Biolini, 2021).

Гравитационные модели учитывают влияние на пассажиропоток расстояния между аэропортом отправления и аэропортом назначения, а также влияние факторов притяжения между ними. Увеличение расстояния оказывает два противоположных воздействия: приводит к снижению социального и экономического взаимодействия, снижая объем пассажиропотока, и приводит к повышению конкурентоспособности воздушного транспорта, повышая объем пассажиропотока (Grosche, 2007):

$$T_{i,j} = K \frac{(A_i, A_j)^\alpha}{D_{i,j}^\gamma}, \quad (1)$$

где A_i, A_j — факторы привлекательности населенного пункта для пассажиров; α — параметр, определяющий влияние факторов привлекательности населенного пункта на пассажиропоток; D — расстояние между пунктами i и j ; γ — параметр, определяющий влияние расстояния между населенными пунктами на пассажиропоток; K — константа.

Развитием гравитационных моделей с учетом влияния различных факторов, таких как численность населения зоны тяготения аэропорта, индекс покупательской способности, уровень занятости, уровень образования, объем ВВП, время перелета и др. занимаются ученые по всему миру (Rengaraju, 1992; Rodriguez, 2020; Russon, 1993; Shen, 2004).

В арктических регионах влияние рассматриваемых факторов на формирование пассажиропотоков отличается. Объем пассажиропотоков не определяется расстоянием между населенными пунктами. Так, например, два населенных пункта, схожих по численности населения, расположенные на разных расстояниях от районного центра, при условии отсутствия социальной инфраструктуры в них имеют примерно одинаковый объем пассажиропотока с районным центром. Спрос на пассажирские перевозки между районными центрами определяется главным образом наличием социально-экономических связей, которые исторически формировались по руслам рек. При этом спрос на перевозку между районными центрами, расположенными в относительной близости, но не имеющими водного сообщения, практически отсутствует. Поэтому применение гравитационных моделей для прогнозирования пассажиропотоков по новым маршрутам в арктических регионах не дает достоверных результатов.

Аналоговые модели предполагают поиск схожих существующих авиационных маршрутов и на их основе разработку прогноза для новых маршрутов (Green, 2007; Lee, 2007; Müller, 2015). В условиях арктических регионов подбор таких маршрутов практически невозможен.

Таким образом, для прогнозирования пассажиропотоков по новым авиационным маршрутам необходима разработка своей методики.

Результаты прогнозирования авиационных пассажиропотоков арктического региона

Результат 1. Прогнозирование пассажиропотоков по существующим внутрирегиональным авиационным маршрутам РС(Я)

В результате исследования разработан метод двухуровневого прогнозирования спроса на внутрирегиональные пассажирские авиаперевозки арктического региона действующей маршрутной сети, позволяющий рассчитать спрос на межрайонные авиаперевозки с учетом прогнозирования на первом уровне пассажиропотоков местных авиаперевозок между районным центром и населенными пунктами. Основу данного метода составляют две многофакторные пространственные линейные регрессионные модели, учитывающие специфику факторов, влияющих на формирование пассажиропотоков на каждом из рассматриваемых уровней. Применение лог-линейной модели в работе не рассматривалось, так как она приводит к смещению оценок и точность прогноза может быть искажена. Это недопустимо на местных линиях в силу потребности получения прогноза высокой точности.

Полученные результаты прогнозирования позволяют определять необходимое количество выполняемых рейсов в год, рассчитывать требуемый парк воздушных судов, в отличие от действующей системы запросов рейсов местными администрациями по факту их заполнения.

Апробация разработанного метода прогнозирования проведена на примере Республики Саха (Якутия) как наиболее крупного арктического региона в мире. Результаты апробации показали, что наиболее значимыми факторами, влияющими на количество вылетевших пассажиров из населенного пункта в районный аэропорт в год, являются численность проживающего населения, наличие в населенном пункте осваиваемых месторождений полезных ископаемых, расстояние перелета от населенного пункта до центра региона и отношение численности проживающего населения к количеству выполняемых рейсов между

районным центром. Также было установлено, что при увеличении количества выполняемых рейсов на местном уровне до 2 раз в месяц прогнозируемый пассажиропоток по этим маршрутам в среднем увеличится на 30 %, что повлечет за собой увеличение пассажиропотока на межрайонном уровне. Для выполнения этого условия необходимо изменение структуры парка воздушных судов в пользу самолетной техники меньшей вместимости, позволяющей регулярно осуществлять авиаперевозки в населенные пункты с небольшой численностью населения и достаточной загрузкой.

Особенностью маршрутной сети Республики Саха является отсутствие на территории АЗ аэропорта, из которого осуществляются прямые рейсы за пределы региона, а также отсутствие прямых рейсов между центрами арктических районов. Все действующие авиационные маршруты включены в список социально значимых и субсидируются на региональном или федеральном уровнях. В результате перелеты осуществляются в несколько этапов: из населенных пунктов в районный центр, из районного центра в крупнейший региональный аэропорт, из крупнейшего регионального аэропорта в другие районы и за пределы региона (Poleshkina, 2022).

Опросы населения, проведенные в арктических районах, показали, что потребность в прямых маршрутах между центрами арктических районов существует. Наиболее востребованными являются прямые маршруты между районами, расположенными вдоль русла одной реки, в силу исторически сложившихся социально-экономических связей. На рисунке 1 показана структура существующих и потенциальных маршрутов Республики Саха (Якутии).

Формализованное описание метода двухуровневого прогнозирования спроса на внутрирегиональные пассажирские авиаперевозки арктического региона действующей маршрутной сети представлено на рисунке 2.

Для выявления факторов была проведена экспертная оценка. Экспертами выступили 30 специалистов, в том числе представители авиакомпаний и аэропортов, сотрудники регионального министерства транспорта, главы арктических районов. На основании оценки сформулировано 18 факторов (табл. 1).

Уровень транспортной доступности принято оценивать средними временными и / или стоимостными затратами на перемещение между выбранным пунктом отправления и пунктами назначения (Berman, 2013; Nelson, 2008; Nelson, 2019; Weiss, 2018). Однако в силу сезонных ограничений использования различных

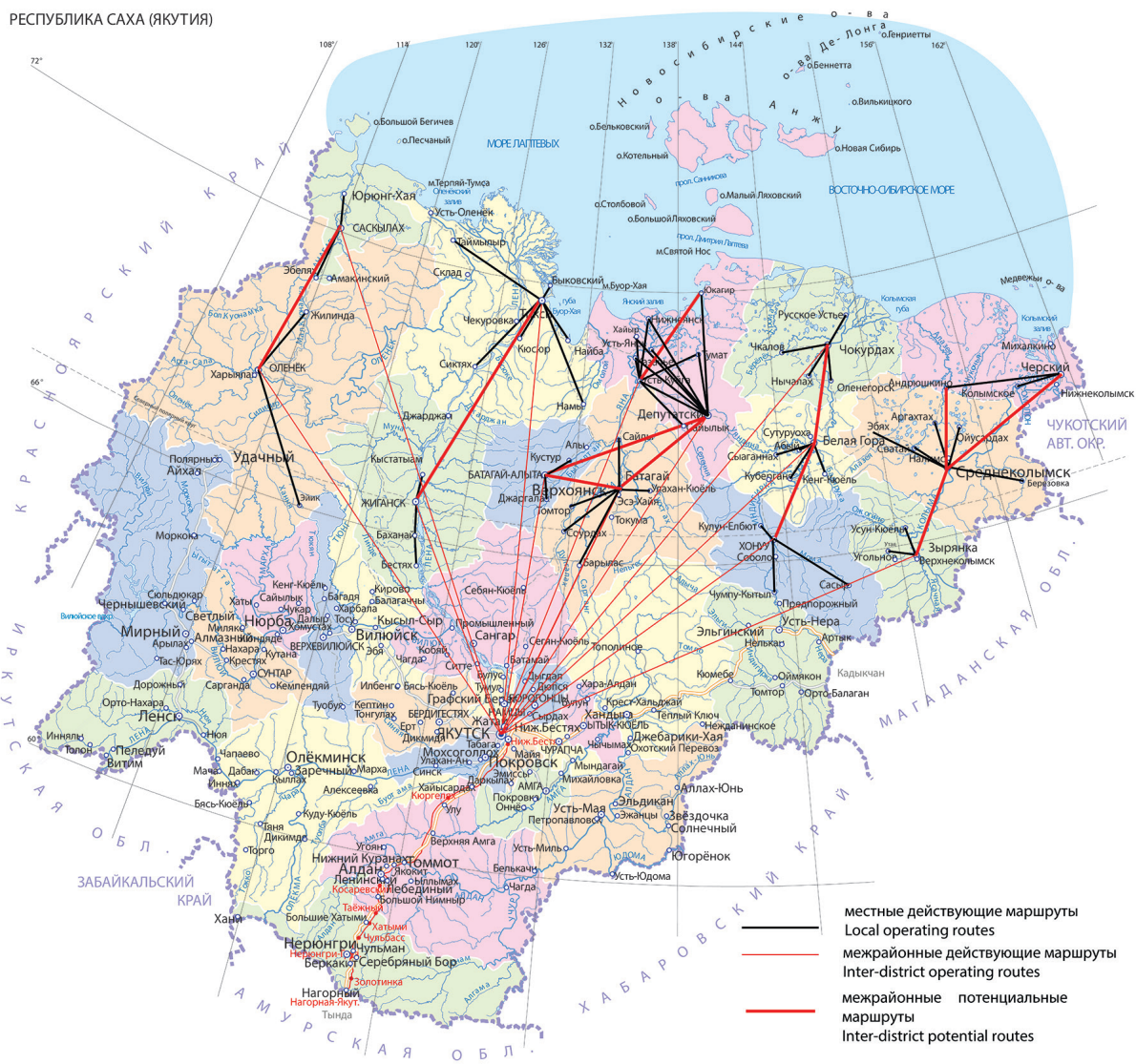


Рис. 1. Структура действующих и потенциальных социально значимых авиационных маршрутов Республики Саха (Якутия) (источник: составлено автором по результатам исследования)

Fig. 1. Structure of existing and potential socially significant air routes of the Republic of Sakha (Yakutia)*

видов транспорта и нерегулярности выполнения авиационных рейсов на местном уровне данные методики мало применимы для арктических регионов. Среди выделенных экспертами факторов рассматривается комплексный коэффициент транспортной доступности, который был разработан автором для регионов Восточной Арктики. Данный коэффициент рассчитывает уровень транспортной доступности районных центров и населенных пунктов с учетом возможности предоставления трех видов услуг (пассажирских перевозок (воздушным транспортом), грузовых перевозок (всеми видами транспорта), санитарной авиации), отражая сезонные ограничения использования транспорта (Полешкина, 2022).

Спрос на местные авиаперелеты в арктической зоне снижается при наличии альтерна-

тивных видов сообщения. Для оценки наличия альтернативных видов сообщения между арктическим населенным пунктом и районным аэропортом в модели была разработана следующая шкала:

- 3,0 балла — наличие круглогодичной автомобильной дороги;
- 2,0 балла — наличие судоходной реки и автозимника;
- 1,5 балла — наличие мелководной притоки и автозимника;
- 1,0 балла — наличие только автозимника.

Для оценки фактора наличия посадочной полосы (вертодрома) в арктическом населенном пункте (НП) разработана следующая шкала:

- 0,5 баллов — расположение в НП недействующего вертодрома;



Рис. 2. Описание метода двухуровневого прогнозирования авиационных пассажиропотоков действующей маршрутной сети внутри арктического региона (источник: составлено автором)

Fig. 2. Description of a two-level forecasting approach to passenger traffic of the existing route network within the Arctic region

— 1,0 балл — расположение в НП действующего вертодрома;

— 1,5 балла — расположение в НП недействующей посадочной полосы и недействующего вертодрома;

— 2,0 балла — расположение в НП недействующей посадочной полосы и действующего вертодрома;

— 3,0 балла — расположение в НП действующей посадочной полосы и действующего вертодрома.

Установлено, что пассажиропоток между населенными пунктами и арктическими районными центрами формируется исключительно из жителей, проживающих в населенных пунктах. Чтобы исключить влияние ограничений, наложенных на пассажирские авиаперевозки в связи с распространением COVID-19, в модели первого уровня были использованы данные фактического пассажиропотока и рассматриваемых критериев в Республике Саха (Якутия) за 2019 г. Сами районные центры в модели первого уровня не рассматриваются, так как они имеют регулярное прямое авиасообщение со столицей региона.

Также не рассматривались населенные пункты, которые не имеют авиасообщения с районным центром. В результате в модель были включены 42 арктических населенных пункта республики. Фактические данные пассажиропотока были предоставлены Транспортно-клиринговой палатой РФ, данные о расстоянии перелета, действующих маршрутах, количестве выполненных рейсов, размере тарифов, наличии посадочных полос и вертодромов в населенных пунктах предоставлены Министерством транспорта и дорожного хозяйства Якутии. Данные о среднем ФОТ в расчете на одного работника в районе предоставлены Территориальным органом Федеральной службы государственной статистики по Республике Саха (Якутия).

Для прогнозирования пассажиропотоков местных авиаперевозок в процессе анализа было построено более 30 уравнений регрессии. Наиболее значимыми из них являются следующие:

$$y_d^1 = -129,344 + 0,465x_1 + 0,002x_7 + 0,101x_{10} - 3,653x_{12}, \quad (2)$$

Таблица 1

Факторы, влияющие на формирование авиационных пассажиропотоков действующей маршрутной сети арктического региона*

Table 1

Factors influencing passenger traffic of the existing route network of the Arctic region*

№	Критерии	Условное обозначение
1	Численность населения в населенном пункте / районном центре, чел.	X1
2	Расстояние воздушного маршрута от населенного пункта до районного аэропорта, км	X2
3	Расстояние по автозимнику от населенного пункта до районного аэропорта, км	X3
4	Размер тарифа (субсидируемого) на перелет между населенным пунктом и районным аэропортом, руб.	X4
5	Расстояние воздушного маршрута от районного аэропорта до центра региона, км	X5
6	Средний размер стоимости перелета экономическим классом из районного аэропорта до центра региона, руб.	X6
7	Средний ежемесячный ФОТ одного работника в районе, руб.	X7
8	Доля стоимости перелета из районного аэропорта до центра региона в среднемесечном ФОТ одного работника в районе	X8
9	Наличие в населенном пункте / районном центре осваиваемых полезных ископаемых	X9
10	Общее расстояние перелета от арктического населенного пункта до центра региона, км	X10
11	Авиационная подвижность населения (количество перелетов в год в расчете на 1 жителя отдаленных населенных пунктов района), перелетов	X11
12	Численность населения в расчете на количество совершаемых авиационных рейсов между населенным пунктом в районный аэропорт в год, чел./рейс	X12
13	Наличие альтернативных видов сообщения между населенным пунктом и районным аэропортом	X13
14	Наличие круглогодичного автомобильного сообщения между районным аэропортом и центром региона	X14
15	Наличие железнодорожного сообщения между районным аэропортом и центром региона	X15
16	Наличие посадочной полосы и/или вертодрома в населенном пункте	X16
17	Комплексный коэффициент транспортной доступности	X17
18	Отнесение территории района к районам Крайнего Севера	X18

* Составлено автором по результатам экспертной оценки

$$y_d^2 = -108,616 + 0,381x_1 + 205,910x_9 + 0,142x_{10} - 2,417x_{12}, \quad (3)$$

где y_d^1 и y_d^2 — величина прогнозируемого пассажиропотока из населенного пункта d до центра арктического района, в котором он расположен.

Первая модель учитывает влияние на пассажиропоток среднего ежемесячного ФОТ одного работника в районе ($X7$), а вторая модель вместо этого показателя учитывает влияние наличия в населенном пункте осваиваемых месторождений полезных ископаемых ($X9$). Размеры β -коэффициентов, их уровни значимости, а также коэффициенты детерминации представлены (R^2) в таблице 2. Данные, представленные в таблице, показывают, что константа модели (2) имеет низкий уровень значимости, что скорее всего свидетельствует о наличии гетероскедастичности остатков. Поэтому в дальнейших расчетах будет использована мо-

дель (3), значимость всех коэффициентов которой находится на допустимом уровне.

Наличие в арктическом населенном пункте осваиваемых полезных ископаемых ($X9$) оказывает наибольшее влияние на уровень спроса при совершении местных авиаперевозок. Тест Голдфелда — Квандта подтвердил отсутствие гетероскедастичности в модели (3). Для рассматриваемой модели $F = 1,119$, табличное значение $F_{11,11} = 2,818$, то есть оно больше рассчитанного по выборке, соответственно, принимается гипотеза об отсутствии гетероскедастичности в модели.

Для проверки достоверности модели (3) был осуществлен расчет годового пассажиропотока между населенными пунктами и центрами Среднеколымского, Усть-Янского, Эвено-Бытантайского арктических районов РС(Я) с учетом фактических значений критериев, включенных в модель. В качестве при-

Таблица 2

Сравнение результатов двух моделей множественной регрессии прогнозирования спроса на местные авиационные перевозки в Республике Саха (Якутия)*

Table 2

Comparison of the results of two multiple regression models for forecasting demand for local air transportation in the Republic of Sakha (Yakutia)*

Показатель	y_d^1		y_d^2	
	β -коэффициент	p -value	β -коэффициент	p -value
Константа	-129,344	0,093693	-108,616	0,028722
X1	0,465	0,000000	0,381	0,000000
X7	0,002	0,021932	—	—
X9	—	—	205,910	0,000000
X10	0,101	0,024692	0,142	0,000047
X12	-3,653	0,000008	-2,417	0,000067
R^2	0,710	0,000000	0,853	0,000000

Источник: результаты собственных расчетов автора

Таблица 3

Расчетный и фактический пассажиропоток местных авиационных маршрутов трех арктических районов Республики Саха (Якутия) в 2019 г.*

Table 3

Estimated and actual passenger traffic on local air routes in three Arctic regions of the Republic of Sakha (Yakutia) in 2019*

Населенный пункт	Наблюдаемый пассажиропоток, чел.	Расчетный пассажиропоток, чел.	Остатки	Точность прогноза, %
Алеко-Кюёль	284	260	24,2	91,48
Аргахта	257	240	17,3	93,27
Берёзовка	141	180	-38,5	72,68
Ойусардах	239	247	-7,8	96,73
Свагай	317	273	43,6	86,25
Сылгы-Ытар	193	218	-25,0	87,05
Хатынгнах	122	133	-10,7	91,20
Эбах	215	235	-20,3	90,55
Нижнеянский	85	92	-7,1	91,62
Сайылык	104	161	-56,6	45,58
Тумат	243	206	37,5	84,57
Хайыр	140	130	9,8	92,98
Юкагир	37	80	-42,6	0,00
Джаргалах	111	269	-157,6	0,00
Кустур	177	182	-4,8	97,31
Среднее значение			X	74,75

*Источник: результаты собственных расчетов автора

мера рассмотрим расчет пассажиропотока в Алеко-Кюёль:

$$-108,616 + 0,381 \cdot 557 - 2,417 \cdot 32 + 0,142 \cdot 1642 + 205,910 \cdot 0 = 260. \quad (4)$$

Расчетные значения сравниваются с фактическими, точность расчетных значений в среднем составила 74,8 % (табл. 3).

Для прогнозирования пассажиропотока внутри арктического региона на втором уровне разработана многофакторная модель линейной регрессии авиационной межрайонной под-

вижности населения, проживающего в районном центре. Подвижность населения рассчитывается как среднее количество перелетов в год, совершенных одним жителем между районным центром и г. Якутск. Рейсы по этим маршрутам выполняются регулярно от 2 до 5 раз в неделю, поэтому целесообразно в качестве зависимой переменной рассматривать не пассажиропоток, а авиационную подвижность населения. Это позволит снизить число независимых переменных в модели, количество наблюдений в которой ограничивается числом районных аэро-

портов в рассматриваемом регионе. В нашем случае на примере Республики Саха (Якутия) их 25. Пассажиропоток в межрайонном сообщении определяется путем умножения расчетной авиационной подвижности населения районного центра на численность проживающего в нем населения и прибавлением доли расчетного объема пассажиропотока местных авиаперевозок, следующего трансфером из отдаленных населенных пунктов в столицу региона. Результаты исследований показали, что доля таких пассажиров составляет в среднем 80 %.

Установлено, что средняя межрайонная авиационная подвижность населения арктических районных центров составляет около 1 поездки в год, в то время как население отдаленных населенных пунктов совершает в год всего от 0,3 до 0,6 поездки. Основным фактором, препятствующим увеличению пассажиропотока на местном уровне, является отсутствие регулярного авиасообщения. Высокая точность прогнозирования пассажиропотока позволяет решить эту проблему.

Факторы, влияющие на авиационную подвижность населения районных центров, приведены в таблице 1. В процессе выбора наиболее точной модели множественной регрессии было построено более 20 уравнений. Самым значимыми из них оказалось следующее:

$$y_d^s = 0,689752 + 0,000006x_7 - 0,853534x_{14} \quad (5)$$

где y_d^s — прогнозируемое значение авиационной подвижности населения в межрайонном сообщении, проживающего в центре арктического района q .

Уровень внутрирегиональной межрайонной авиационной подвижности населения в арктическом регионе зависит главным образом от двух переменных: среднего ежемесячного размера ФОТ и наличия между районным

центром и центром региона круглогодичного автомобильного сообщения. Объем спроса на межрайонные пассажирские авиационные перевозки рассчитывается по формуле

$$d_{ir} = (0,689752 + 0,000006x_7 - 0,853534x_{14}) \times p_r + \sum_{i=1}^I \delta_i y_{d_i}^2, \quad (6)$$

где d_{ir} — прогнозный годовой пассажиропоток, вылетающий из центрального районного аэропорта в столицу региона; $y_{d_i}^2$ — пассажиропоток из населенных пунктов в районный аэропорт; δ_i — доля пассажиров местных авиалиний, вылетающая за пределы арктического района; p_r — прогнозное значение численности населения в районном центре.

Оценка значимости коэффициентов и уравнения регрессии прогнозирования авиационной межрайонной подвижности населения представлена в таблице 4.

Значимость всех коэффициентов на допустимом уровне, тест Голдфелда — Квандта подтвердил отсутствие гетероскедастичности.

Проверка достоверности расчетных значений авиационной подвижности населения, проживающего в арктических районах Республики Саха (Якутия), на основе их сравнения с фактическими данными 2019 г. показала точность прогноза на уровне 86,7 %. Расчет осуществлялся путем подстановки в модель (6) фактических значений независимых переменных, результаты расчетов представлены в таблице 5.

Результат 2. Методика прогнозирования пассажиропотоков по новым потенциальным авиационным маршрутам арктического региона

Анализ развития транспортной системы регионов Восточной Арктики показал, что исторически расселение местных жителей происходило по руслам северных рек. В результате основные социальные и хозяйствен-

Таблица 4

Оценка значимости коэффициентов и уравнения регрессии прогнозирования межрайонной авиационной подвижности населения*

Table 4

Significance of coefficients and regression equations for forecasting inter-district air mobility of the population*

Показатель	d_{ir}	
	β -коэффициент	p-value
Константа	0,689752	0,000000
X7	0,0006	0,000340
X14	-0,853534	0,000000
R2	0,884398	0,000000

*Источник: результаты собственных расчетов автора

Таблица 5

Расчетная и фактическая авиационная подвижность населения центров арктических районов
Республика Саха (Якутия) в 2019 г.

Table 5

Estimated and actual air mobility of the population in the centres of the Arctic regions of the Republic of Sakha
(Yakutia) in 2019

Районный центр (район)	Фактическая авиационная подвижность населения	Расчетная авиационная подвижность населения	Остатки	Точность прогноза, %
Белая гора (Абыйский)	1,14	1,02	0,12	89,47
Чокурдах (Аллаиховский)	1,12	1,00	0,12	89,40
Саскылах (Анабарский)	1,75	1,36	0,38	77,98
Тикси (Булунский)	0,85	1,11	-0,26	69,87
Зырянка (Верхнеколымский)	0,95	1,04	-0,08	91,07
Багагай (Верхоянский)	0,97	0,92	0,05	95,03
Хонуу (Момский)	0,98	0,94	0,04	95,90
Черский (Нижнеколымский)	0,75	0,99	-0,23	68,97
Оленёк (Оленёкский)	1,01	1,22	-0,21	79,31
Среднеколымск (Среднеколымский)	0,89	0,90	-0,01	98,88
Депутатск и Усть-куйга (Усть-Янский)	1,17	0,98	0,20	83,22
Багагай-Алыта (Эвено-Бытантайский)	0,81	0,90	-0,09	89,09
Жиганск (Жиганский)	0,92	0,94	-0,03	97,25
Среднее значение			X	86,57

*Источник: результаты собственных расчетов автора

ные связи сформировались между районами, расположенными вдоль русла одной реки. Исследования показали, что районные центры в Восточной Арктике сильно отличаются друг от друга уровнем доступности основных социальных услуг, таких как медицинское обслуживание, образование, доступность товаров, организация досуга. Установлено, что вероятность совершения перелета местными жителями в соседний арктический район определяется наличием в нем конкретной социальной инфраструктуры и его географическим размещением, а не удаленностью. Поэтому применение гравитационных моделей прогнозирования пассажиропотоков по новым маршрутам в регионах Восточной Арктики малоэффективно.

Для прогнозирования пассажиропотоков была разработана новая методика, основанная на глубоком анализе количества совершенных перелетов местными жителями за предыдущие периоды с учетом целей совершения перелетов и выявления возможности реализации этих целей в соседних арктических районах, между которыми исторически развивались социально-экономические связи и сохранялись родственные контакты.

Исследование, проведенное в Республике Саха (Якутия) показало, что все перелеты между арктическими районами осуществляются через центр региона, что увеличивает

время перелета более чем в 4 раза, а стоимость – в 2,5 раза (Полешкина, 2023). Как следствие, пассажиропоток между районными центрами практически отсутствует. Формализованное описание разработанной методики прогнозирования представлено на рисунке 3.

В РС(Я) при построении сети потенциальных авиационных маршрутов были выделены пять групп арктических районов, рных на берегах соответствующих рек: Анабарская, Ленская, Янская, Индигирская и Колымская группы.

Прогнозирование пассажиропотока предлагается осуществлять отдельно в прямом и обратном направлениях, так как каждый арктический район имеет свои факторы притяжения (возможности предоставления социальных услуг). Прогнозирование пассажиропотока осуществляется по следующей формуле:

$$D_{i'j'} = \sum_{a=1}^A q^a (P_{i'} + \sum_{i=1}^{I^*} D_{i'}^*), a \in A, \quad (7)$$

где $D_{i'j'}$ – общий пассажиропоток из районного центра i в районный центр j , q^a – прогнозируемое количество полетов, совершаемых одним жителем в год по вновь открываемому маршруту, в связи с действием фактора притяжения a ; $P_{i'}$ – численность населения в центре арктического района; $D_{i'}^*$ – прогнозируемый пассажиропоток из населенных пунктов зоны



Рис. 3. Описание методики прогнозирования пассажиропотоков потенциальных авиационных маршрутов арктического региона (источник: составлено автором)

Fig. 3. Description of the approach for forecasting passenger traffic on potential air routes in the Arctic region

притяжения районного аэропорта; Γ — все населенные пункты района i .

Выявление факторов притяжения районных аэропортов осуществляется на основе анализа инфраструктуры районных центров и проведения социологических опросов местного населения относительно целей и частоты совершаемых перелетов за период с 2017 по 2020 г., а также планируемых перелетов по проектируемым маршрутам с учетом установленной регулярности выполнения рейсов и их стоимости. Опрос проводился автором исследования в августе 2022 г. В опросе принимали участие жители 3 арктических районов Республики Саха (Якутия): Верхоянского, Среднеколымского и Нижнеколымского, в возрасте от 17 до 75 лет различной занятости. Анкета включала 39 вопросов. В процессе опроса определялись уровень дохода, количество совершаемых перелетов за 4 года с целью посещения родственников, рабочих командировок, туризма, получения медицинского обслуживания, оформления документов, образования, покупок, уровень удовлетворенности количеством совершаемых перелетов и причины неудовлетворенности, востребованность открытия прямых маршрутов

между арктическими районами с указанием направления и количество перелетов, которые готов совершить респондент в год по указанным маршрутам для реализации выше обозначенных целей. Всего было опрошено 122 чел.

Результаты опросов показали, что за 4-летний период респондентами было совершено 528 перелета за пределы района, то есть 1,08 перелета в расчете на одного жителя в год, что соответствует данным Транспортно-клиринговой палаты Российской Федерации. Из общего количества с целью посещения родственников совершено 28 % перелетов, с целью рабочих командировок — 26 %, с целью туризма — 21 %, с целью получения медицинского обслуживания — 9 %, с целью оформления документов и прочих административных формальностей — 8 %, с целью учебы — 7 %, за продуктами и товарами — 1 %. Возможность получения медицинских и образовательных услуг в соседних арктических районах определяется наличием в них больниц и образовательных организаций.

Было установлено, что потенциальные факторы притяжения пассажиропотока между соседними арктическими районами обусловлены наличием медицинских учреждений со специа-

Таблица 6

Прогноз пассажиропотока по прямому авиационному маршруту Черский – Среднеколымск в Республике Саха (Якутия)

Table 6

Forecasted passenger traffic on the direct air route Chersky - Srednekolymsk in the Republic of Sakha (Yakutia)

Показатель	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Численность населения, чел.	Фактические данные							Прогноз			
Черский	2 605	2 600	2 555	2 550	2 552	2554	2554	2556	2556	2556	2556
Нижнеколымский район	4 386	4 366	4 290	4 290	4 260	4228	4226	4225	4225	4225	4225
Вылетело пассажиров, чел.											
по маршруту Черский – Якутск	3603	3525	3437	3569	2563	3313	3540	3570	3578	3590	3595
по маршруту Черский – Среднеколымск	0	0	0	0	0	0	23	3037	6274	6692	8366
Межрайонная авиационная подвижность населения	0,82	0,81	0,80	0,83	0,60	0,78	0,84	1,56	2,33	2,43	2,83

лизированными специалистами и оборудованием, средних специальных и высших учебных заведений, культурно-спортивных учреждений, туристических объектов, осваиваемых месторождений полезных ископаемых, проживание родственников и друзей. При наличии одного из них возникает спрос на открытие регулярного маршрута между центрами арктических районов. Точность прогноза спроса зависит от глубины исследования этих факторов.

Апробация разработанной методики была проведена на основе наиболее отдаленных арктических районов Колымской группы Республики Саха (Якутия), имеющих самый низкий уровень транспортной доступности в регионе. Прогнозирование пассажиропотока осуществлено на примере открытия прямого маршрута Черский – Среднеколымск. Расстояние перелета от Черского до центра региона (г. Якутска) составляет 1920 км, от г. Среднеколымск – 1485 км, протяженность прямого маршрута между ними составит 358 км. В настоящее время сообщение между пгт Черский и г. Среднеколымск осуществляется только по автозимнику протяженностью 667 км, среднее время в пути – 9,5 часа, пассажирское сообщение отсутствует в течение всего года.

Результаты исследования показали, что при открытии прямого маршрута между центрами Нижнеколымского и Среднеколымского районов в среднем каждый житель при наличии регулярно выполняемых рейсов готов совершить 2 перелета в год, что позволит существенно повысить удовлетворенность населения предоставлением социально значимых услуг (главным образом медицинского обслуживания) и доступностью продовольствия (табл. 6).

Анализ инфраструктуры г. Среднеколымск показал, что в нем располагается центральная районная больница с наличием специалистов по хирургии, педиатрии, стоматологии, травматологии, гинекологии и офтальмологии вместимостью 500 койко-мест. В пгт Черский в районной больнице предоставляются только услуги терапевта. В результате 47 % опрошенных жителей пгт Черский говорят о необходимости наличия прямого маршрута Черский – Среднеколымск с целью получения медицинского обслуживания, туризма и посещения родственников. Потребность открытия маршрута Черский – Зырянка (552 км) отметили 17,6 % жителей, маршрута Черский – Чокурдах (558 км) – 8,8 %, маршрут Черский – Тикси (1248 км) – 11,8 %.

По результатам опроса построен эмпирический график распределения вероятности количества совершаемых перелетов одним жителем в год с учетом действующей маршрутной сети (рис. 4).

На основании результатов опроса и анализа существующей инфраструктуры районных центров построен прогнозный график распределения вероятностей количества совершаемых перелетов по маршруту Черский – Среднеколымск при условии, что стоимость субсидируемого перелета по этому маршруту будет на 45 % ниже, чем стоимость перелета в г. Якутск с учетом расстояний (рис. 5).

Проверка достоверности разработанной методики осуществлялась на основе анализа пассажиропотоков существующих прямых регулярных авиационных маршрутов между центрами арктических районов Чукотского автономного округа, которые подтвердили расчетные значения.

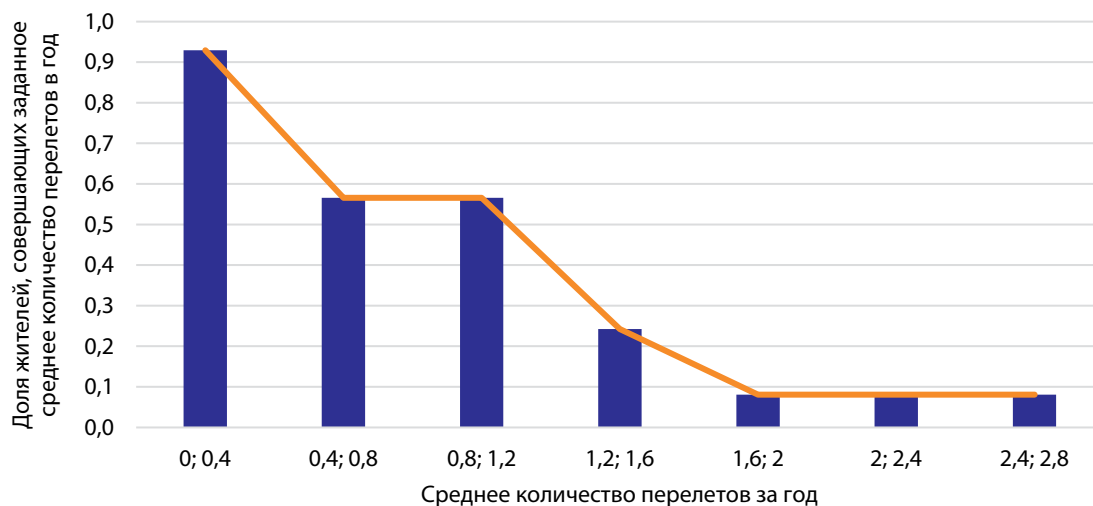


Рис. 4. График среднего количества совершаемых межрайонных авиаперелетов одним жителем Колымской группы районов Республики Саха (Якутия) в год (источник: составлено на основании результатов опроса и статистических данных)

Fig. 4. Average number of inter-district flights by one resident of the Kolyma group of districts in the Republic of Sakha (Yakutia) per year *

На основе эмпирического графика построена функция распределения вероятности количества совершаемых перелетов за пределы Арктического района одним жителем в год (рис. 5). Достоверность полученного графика подтверждается статистическими данными об авиационной подвижности населения.

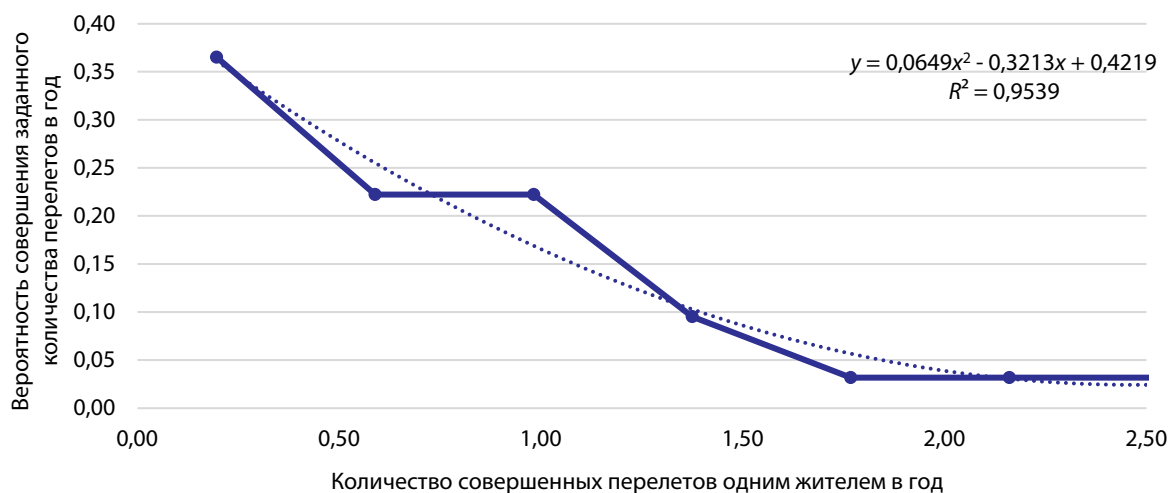


Рис. 5. Полигон частот совершения перелетов за пределы района в год одним жителем Колымской группы районов Республики Саха (Якутия), построенный на основании данных социологических опросов (источник: составлено на основании собственных расчетов автора)

Fig. 5. Flights to other regions by one resident of the Kolyma group of districts in the Republic of Sakha (Yakutia) per year, built based on sociological survey data*

Прогнозируемый объем спроса на перелеты по новым маршрутам будет выполняться при условии высокой регулярности полетов, так как длительный срок ожидания обратного рейса увеличит стоимость проживания в точке назначения. Поэтому после расчета прогнозного объема спроса на перелет в дальнейшем необходимо определить подходящий размер воздушного судна для обслуживания анализируемого маршрута.

Заключение

Методика двухуровневого прогнозирования пассажиропотоков по внутренним существующим маршрутам арктического региона отличается от известных последовательным решением двух задач: прогнозом спроса на перевозки между населенными пунктами и центром арктического района и на его основе прогнозом спроса на межрайонные перевозки из районного центра в столицу региона.

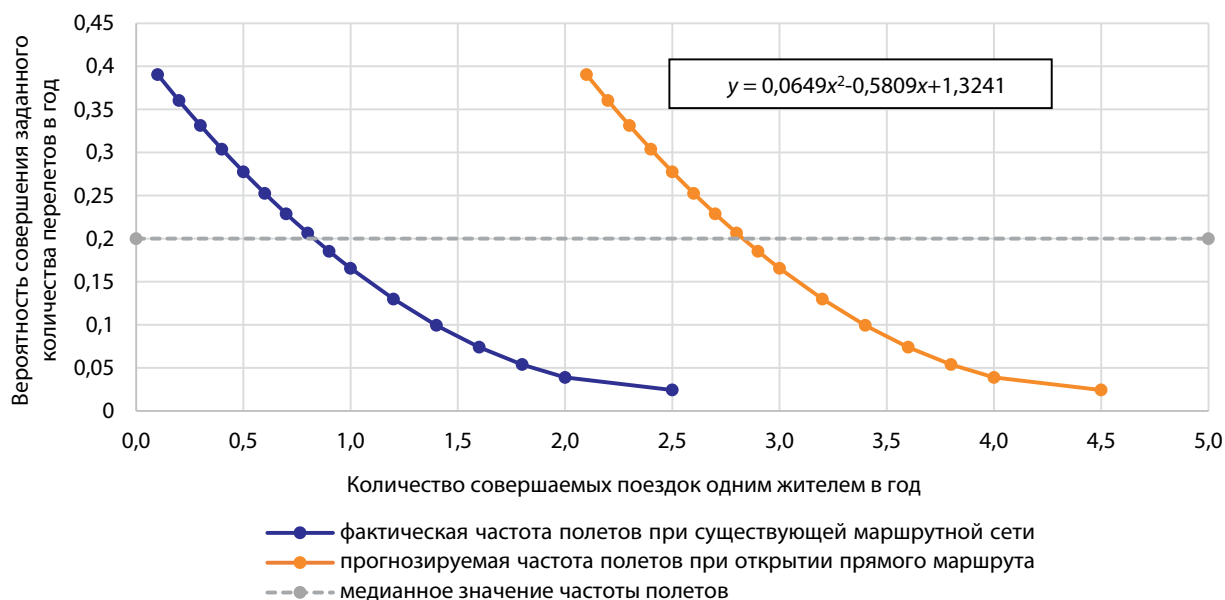


Рис. 6. Фактический и прогнозный графики распределения вероятности количества совершения перелетов одним жителем в год по маршруту Черский-Среднеколымск*

Fig. 6. Actual and forecasted distribution of the number of flights by one resident on the air route Chersky – Srednekolymsk per year *

Благодаря учету пассажиропотока местных авиалиний точность прогноза повышается. Методика двухуровневого прогнозирования пассажиропотоков по действующим маршрутам может быть использована при расчете требуемого парка воздушных судов, оптимизации их типоразмеров, при определении необходимой регулярности выполнения рейсов для обеспечения нормального уровня транспортной доступности.

Методика прогнозирования пассажиропотоков по новым прямым авиационным маршрутам между центрами арктических районов, имеющими исторически сложившиеся социально-экономические связи, учитывающая инфраструктуру районных центров, численность проживающего населения и его потребности в совершении перелетов, позволяет повысить точность прогноза по сравнению с гравитационными моделями за счет учета индивидуальных особенностей местного населения. С помощью данной методики установлено, что откры-

тие прямых маршрутов в Колымской группе районов Республики Саха (Якутия) позволит втрое увеличить межрайонную авиационную подвижность населения с 0,98 до 2,98 поездки в год. Данная методика позволит авиакомпаниям понизить риски изменения маршрутной сети и может быть использована для принятия решений о включении новых маршрутов в список социально значимых при установлении порогового значения доли местного населения, заинтересованного в открытии такого маршрута.

Обсуждения и дальнейшего исследования требуют возможности учета разрабатываемых инвестиционных проектов освоения новых месторождений в Арктике при прогнозировании пассажиропотоков по существующим и потенциальным маршрутам. Большой интерес представляет разработка методики прогнозирования авиационных пассажиропотоков при развитии новых опорных пунктов обслуживания Северного морского пути.

Список источников

Анисимов, В. А., Григорьева, А. С. (2022). О прогнозировании пассажиропотоков для высокоскоростных магистралей с учетом конкуренции на рынке пассажирских перевозок. *Известия Петербургского университета путей сообщения*, 19(3), 576-589. <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2022-3-576-589>

Грузинов, В. М., Зворыкина, Ю. В., Иванов, Г. В., Сычев, Ю. Ф., Тарасова, О. В., Филин Б. Н. (2019). Арктические транспортные магистрали на суше, акваториях и в воздушном пространстве. *Арктика: экология и экономика*, (1), 6-20. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2019-1-6-20>

Егорова, Т. П. (2022). Транспортная мобильность, как индикатор качества жизни населения северных территорий России. *Арктика XXI. Гуманитарные науки*, (4), 28-43. <https://doi.org/10.25587/SVFU.2022.60.56.003>

- Егорова, Т. П., Делашова, А. М. (2020). Разработка инструментария оценки дифференциации уровня транспортной доступности северного региона. *Теоретическая и прикладная экономика*, (4), 81-94. <https://doi.org/10.25136/2409-8647.2020.4.34637>
- Жуков, В. (2020). Модели анализа спроса на пассажирские авиаперевозки. *Мир транспорта*, 18(1), 134-144. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-134-144>
- Лексин, В. Н., Порфирьев, Б. Н. (2022). Другая Арктика: опыт системной диагностики. *Проблемы прогнозирования*, (1), 34-44. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-190-34-44>
- Митрюкова, К. А. (2023). Транспортный каркас Арктической зоны Российской Федерации. *Экономика, предпринимательство и право*, 13(5), 1371-1387. <https://doi.org/10.18334/epp.13.5.117587>
- Неретин, А. С., Золотова, М. В., Ломакина, А. И., Тархов, С. А. (2019). Транспортная связанность и освоенность Восточных регионов России. *Известия РАН. Серия Географическая*, (6), 35-52. <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019635-52>
- Полешкина, И. О. (2022). Методика оценки транспортной доступности населенных пунктов Арктической зоны России. *Железнодорожный транспорт*, (5), 32-37.
- Полешкина, И. О. (2022). Роль малой авиации в обеспечении транспортной доступности арктических регионов: проблемы и направления развития. *Научный Вестник МГТУ ГА*, 25(2), 54-69. <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2022-25-2-54-69>
- Серова, Н. А. (2021). Транспортная инфраструктура Российской Арктики: специфика функционирования и перспективы развития. *Проблемы прогнозирования*, (2), 142-151. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-185-142-151>
- Советов, Б. Я., Сикерин, А. В. (2016). Гравитационная и энтропийная модели потоков при территориальном планировании развития транспортной системы. *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*, (8), 21-25.
- Сузанский, А. Д. (2022). Территориальная структура пассажирских авиаперевозок в арктических странах (на примере Норвегии, Швеции и Финляндии). *Региональные исследования*, 4(78), 40-48. <https://doi.org/10.5922/1994-5280-2022-4-4>
- Тархов, С. А. (2018). Изменение авиатранспортной связанности городов России в 1990–2015 гг. *Известия РАН. Серия Географическая*, (2), 5-26. <https://doi.org/10.7868/S2587556618020024>
- Тархов, С. А. (2019). Анализ топологических дефектов сухопутной транспортной сети регионов Сибири и Дальнего Востока. *Региональные исследования*, (3), 53-62.
- Berman, M. (2013). Remoteness and mobility: transportation routes, technologies, and sustainability in arctic communities. *BSU bulletin. Humanities Research of Inner Asia*, (2), 19-31.
- Biroolini, S., Jacquillat, A., Cattaneo, M., & Antunes, A. P. (2021). Airline Network Planning: Mixed-integer non-convex optimization with demand-supply interactions. *Transportation Research Part B*, 154, 100-124. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2021.09.003>
- Egorova, T., & Delakhova, A. (2023). Sustainable development of the northern regions and differentiation of the level of transport accessibility of building materials. *E3S Web of Conferences. International Scientific Conference "Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East" (AFE-2022)*, 371, 04034. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337104034>
- Green, K. C., & Armstrong, J. S. (2007). Structured analogies for forecasting. *International Journal of Forecasting*, 23(3), 365-376. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2007.05.005>
- Grosche, T., Rothlauf, F., & Heinzl, A. (2007). Gravity models for airline passenger volume estimation. *Journal of Air Transport Management*, 13(4), 175-183. <https://doi.org/10.1016/j.JAIRTRAMAN.2007.02.001>
- Hjort, J., Karjalainen, O., Aalto, J., Westermann, S., Romanovsky, V., Nelson, F., Eitzelmüller, B., & Luoto, M. (2018). Degrading permafrost puts Arctic infrastructure at risk by mid-century. *Nature Communications*, 9, 5147. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07557-4>
- Lee, W. Y., Goodwin, P., Fildes, R., Nikolopoulos, K., & Lawrence, M. (2007). Providing support for the use of analogies in demand forecasting. *International Journal of Forecasting*, 23(3), 377-390.
- Müller, F., Bråthen, S., & Svendsen H. J. (2015). *The Arctic Circle Airport — A Comparative Study*. Molde: Møreforskning Molde AS. <https://www.moreforsk.no/publikasjoner/rapporter/transportokonomi/1515-the-arctic-circle-airport—a-comparative-study/1094/2985/>
- Nelson, A. (2008). *Estimated travel time to the nearest city of 50,000 or more people in year 2000*. Global Environment Monitoring Unit — Joint Research Centre of the European Commission, Italy: Ispra.
- Nelson, A., Weiss, D. J., van Etten, J., Cattaneo, A., McMenomy, T. S., & Koo, J. (2019). A suite of global accessibility indicators. *Scientific data*, 6, 266. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0265-5>
- Poleshkina, I. (2023). Methodology for Evaluating Transport Accessibility in the Arctic Zone: Organization of Passenger Transportation. In: O. A. Gorbachev, X. Gao, B. Li (Eds.), *Proceedings of 10th International Conference on Recent Advances in Civil Aviation. Lecture Notes in Mechanical Engineering* (pp. 425-432). Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3788-0_38
- Poleshkina, I., & Gorbunov, V. (2021). Development of the air transport network in the Arctic Zone of Eastern Siberia. *Transportation Research Procedia. "International Conference of Arctic Transport Accessibility: Networks and Systems"*, 57, 443-451. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.09.071>
- Pot, F. J., & Koster, S. (2022). Small airports: Runways to regional economic growth? *Journal of Transport Geography*, 98, 103262. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103262>

- Rengaraju, V.R., & Thamizh, A. V. (1992). Modeling for air travel demand. *Journal of Transportation Engineering*, 118(3), 371-380. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1992\)118:3\(371\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1992)118:3(371))
- Rodriguez, J.-P. (2020). *Geography of transport systems*. 5th edition. New York: Routledge, 456.
- Russon, M. G., & Riley, N. F. (1993). Airport substitution in a short haul model of air transportation. *International Journal of Transportation Economics*, 20(2), 157-174.
- Shen, G. (2004). Reverse-fitting the gravity model to inter-city airline passenger flows by an algebraic simplification. *Journal of Transport Geography*, 12(3), 219-234.
- Tretheway, M., Andriulaitis, R., Kositsky, J., & Tretheway, G. (2021). *Northern and Arctic Air Connectivity in Canada Discussion Paper*. International Transport Forum, 03, OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/76573c8d-en>
- Weiss, D. J., Nelson, A., Gibson, H. S., Temperley, W., Peedell, S., Lieber, A., Hancher, M., Poyart, E., Belchior, S., Fullman, N., Mappin, B., Dalrymple, U., Rozier, J., Lucas, T. C. D., Howes, R. E., Tusting, L. S., Kang, S. Y., Cameron, E., Bisanzio, D., Battle, K. E., ... Gething, P. W. (2018). A global map of travel time to cities to assess inequalities in accessibility in 2015. *Nature*, 553, 333-336. <https://doi.org/10.1038/nature25181>

References

- Anisimov, V.A., & Grigor'eva, A. S. (2022). On passenger traffic forecasting for high-speed highways given competition in passenger transportation market. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya [Proceedings of Petersburg Transport University]*, 19(3), 576-589. <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2022-3-576-589> (In Russ.)
- Berman, M. (2013). Remoteness and mobility: transportation routes, technologies, and sustainability in arctic communities. *BSU bulletin. Humanities Research of Inner Asia*, (2), 19-31.
- Biolini, S., Jacquillat, A., Cattaneo, M., & Antunes, A. P. (2021). Airline Network Planning: Mixed-integer non-convex optimization with demand-supply interactions. *Transportation Research Part B*, 154, 100-124. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2021.09.003>
- Egorova, T. P. (2022). Transport mobility as an indicator of the quality of life of the population of the northern territories of Russia. *Arktika XXI. Gumanitarnye nauki [Arctic XXI century. Humanities]*, (4), 28-43. <https://doi.org/10.25587/SVFU.2022.60.56.003> (In Russ.)
- Egorova, T., & Delakhova, A. (2020). Elaboration of toolset for assessing differentiation of the level of transport accessibility of northern region. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekonomika [Theoretical and Applied Economics]*, (4), 81-94. <https://doi.org/10.25136/2409-8647.2020.4.34637> (In Russ.)
- Egorova, T., & Delakhova, A. (2023). Sustainable development of the northern regions and differentiation of the level of transport accessibility of building materials. *E3S Web of Conferences. International Scientific Conference "Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East" (AFE-2022)*, 371, 04034. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337104034>
- Green, K. C., & Armstrong, J. S. (2007). Structured analogies for forecasting. *International Journal of Forecasting*, 23(3), 365-376. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2007.05.005>
- Grosche, T., Rothlauf, F., & Heinzl, A. (2007). Gravity models for airline passenger volume estimation. *Journal of Air Transport Management*, 13(4), 175-183. <https://doi.org/10.1016/j.JAIRTRAMAN.2007.02.001>
- Gruzinov, V. M., Zvorykina, Yu. V., Ivanov, G. V., Sychev, Yu. F., Tarasova, O. V., & Filin, B. N. (2019). Arctic transport routes on land, in water and air areas. *Arktika: ekologiya i ekonomika [Arctic: ecology and economy]*, (1), 6-20. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2019-1-6-20> (In Russ.)
- Hjort, J., Karjalainen, O., Aalto, J., Westermann, S., Romanovsky, V., Nelson, F., Eitzelmüller, B., & Luoto, M. (2018). Degrading permafrost puts Arctic infrastructure at risk by mid-century. *Nature Communications*, 9, 5147. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07557-4>
- Lee, W. Y., Goodwin, P., Fildes, R., Nikolopoulos, K., & Lawrence, M. (2007). Providing support for the use of analogies in demand forecasting. *International Journal of Forecasting*, 23(3), 377-390.
- Leksin, V.N., & Porfiriev, B. N. (2022). The other Arctic: experience in system diagnostics. *Problemy prognozirovaniya [Studies on Russian Economic Development]*, (1), 34-44. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-190-34-44> (In Russ.)
- Mitryukova, K. A. (2023). The transport framework of the Russian Arctic zone. *Ekonomika, predprinimatelstvo i pravo [Journal of economics, entrepreneurship and law]*, 13(5), 1371-1387. <https://doi.org/10.18334/epp.13.5.117587> (In Russ.)
- Müller, F., Bråthen, S., & Svendsen H. J. (2015). *The Arctic Circle Airport— A Comparative Study*. Molde: Møreforskning Molde AS. <https://www.moreforsk.no/publikasjoner/rapporter/transportokonomi/1515-the-arctic-circle-airport—a-comparative-study/1094/2985/>
- Nelson, A. (2008). *Estimated travel time to the nearest city of 50,000 or more people in year 2000*. Global Environment Monitoring Unit — Joint Research Centre of the European Commission, Italy: Ispra.
- Nelson, A., Weiss, D. J., van Etten, J., Cattaneo, A., McMenomy, T. S., & Koo, J. (2019). A suite of global accessibility indicators. *Scientific data*, 6, 266. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0265-5>
- Neretin, A. S., Zotova, M. V., Lomakina, A. I., & Tarkhov, S. A. (2019). Transport connection and development of the eastern regions of Russia. *Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, (6), 35-52. <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019635-52> (In Russ.)
- Poleshkina I., (2022). Methodology for assessing transport accessibility of settlements in the Arctic zone of Russia. *Zheleznodorozhnyy transport [Railway Transport]*, (5), 32-37. (In Russ.)

Poleshkina, I. (2023). Methodology for Evaluating Transport Accessibility in the Arctic Zone: Organization of Passenger Transportation. In: O. A. Gorbachev, X. Gao, B. Li (Eds.), *Proceedings of 10th International Conference on Recent Advances in Civil Aviation. Lecture Notes in Mechanical Engineering* (pp. 425-432). Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3788-0_38

Poleshkina, I. O. (2022). Contribution of general aviation to ensuring transport accessibility to the Arctic regions: the challenges and areas of focus. *Nauchnyy Vestnik MGTU GA [Civil aviation high technologies]*, 25(2), 54-69. <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2022-25-2-54-69> (In Russ.)

Poleshkina, I., & Gorbunov, V. (2021). Development of the air transport network in the Arctic Zone of Eastern Siberia. *Transportation Research Procedia. "International Conference of Arctic Transport Accessibility: Networks and Systems"*, 57, 443-451. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.09.071>

Pot, F. J., & Koster, S. (2022). Small airports: Runways to regional economic growth? *Journal of Transport Geography*, 98, 103262. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103262>

Rengaraju, V. R., & Thamizh, A. V. (1992). Modeling for air travel demand. *Journal of Transportation Engineering*, 118(3), 371-380. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1992\)118:3\(371\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1992)118:3(371))

Rodriguez, J.-P. (2020). *Geography of transport systems*. 5th edition. New York: Routledge, 456.

Russon, M. G., & Riley, N. F. (1993). Airport substitution in a short haul model of air transportation. *International Journal of Transportation Economics*, 20(2), 157-174.

Serova, N. A., & Serova, V. A. (2021). Transport Infrastructure of the Russian Arctic: Specifics Features and Development Prospects. *Problemy prognozirovaniya [Studies on Russian Economic Development]*, (2), 142-151. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-185-142-151> (In Russ.)

Shen, G. (2004). Reverse-fitting the gravity model to inter-city airline passenger flows by an algebraic simplification. *Journal of Transport Geography*, 12(3), 219-234.

Sovetov, B. Ya., & Sikerin, A. V. (2016). Gravitational and entropy models of traffic flows forecasting in terms of transportation planning. *Izvestiya SPbETU "LETI" [Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University]*, (8), 21-25. (In Russ.)

Suzanskiy, A. D. (2022). Territorial structure of passenger air transport in the Arctic countries (case of Norway, Sweden and Finland). *Regionalnye issledovaniya [Regional research]*, 4(78), 40-48. <https://doi.org/10.5922/1994-5280-2022-4-4> (In Russ.)

Tarkhov, S. A. (2018). Changes in air transport connectivity of Russian cities in 1990–2015. *Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, (2), 5-26. <https://doi.org/10.7868/S2587556618020024> (In Russ.)

Tarkhov, S. A. (2019). Analysis of topological defects of land transport network of Siberia and Russian Far East' regions. *Regionalnye issledovaniya [Regional Studies]*, (3), 53-62. (In Russ.)

Tretheway, M., Andriulaitis, R., Kositsky, J., & Tretheway, G. (2021). *Northern and Arctic Air Connectivity in Canada Discussion Paper*. International Transport Forum, 03, OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/76573c8d-en>

Weiss, D. J., Nelson, A., Gibson, H. S., Temperley, W., Peedell, S., Lieber, A., Hancher, M., Poyart, E., Belchior, S., Fullman, N., Mappin, B., Dalrymple, U., Rozier, J., Lucas, T. C. D., Howes, R. E., Tusting, L. S., Kang, S. Y., Cameron, E., Bisanzio, D., Battle, K. E., ... Gething, P. W. (2018). A global map of travel time to cities to assess inequalities in accessibility in 2015. *Nature*, 553, 333-336. <https://doi.org/10.1038/nature25181>

Zhukov, V. E. (2020). Demand Analysis Models for Passenger Air Transportation. *Mir transporta [World of transport and transportation]*, 18(1), 134-144. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-134-144> (In Russ.)

Информация об авторе

Полешкина Ирина Олеговна — доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Московский государственный технический университет гражданской авиации; <https://orcid.org/0000-0003-3481-3256>; Scopus Author ID: 57203815383 (Российская Федерация, 125993, г. Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20; e-mail: ipoleshkina@mstuca.aero).

About the author

Irina O. Poleshkina — Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Senior Research Associate, Moscow State Technical University of Civil Aviation; <https://orcid.org/0000-0003-3481-3256>; Scopus Author ID: 57203815383 20, Kronshtadtsky blv., Moscow, 125993, Russian Federation; e-mail: ipoleshkina@mstuca.aero).

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The author declares no conflicts of interest.

Дата поступления рукописи: 02.10.2023.

Прошла рецензирование: 07.11.2023.

Принято решение о публикации: 22.03.2024.

Received: 02 Oct 2023.

Reviewed: 07 Nov 2023.

Accepted: 22 Mar 2024.