



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.7.823.21

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-2-3>

Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 2 (105). С. 28–38

Развитие сети посадочных площадок и вертодромов: обеспечение авиационной доступности населённых пунктов арктических регионов



Ирина ПОЛЕШКИНА



Вадим ВОРОБЬЁВ

*Ирина Олеговна Полешкина¹,**Вадим Вадимович Воробьёв²**Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Россия.*✉ ¹ ipoleshkina@mail.ru.✉ ² v.vorobjev@mstuca.aero.

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены проблемы обеспечения авиационной доступности отдалённых населённых пунктов регионов Восточной Арктики России. Конкретизировано понятие авиационной доступности населённого пункта.

Проведён анализ авиационной подвижности населения Арктической зоны Республики Саха (Якутия). Установлено, что сдерживающим фактором выполнения регулярных полётов между населёнными пунктами и центрами арктических районов является отсутствие достаточного количества посадочных площадок. В этих условиях местные авиарейсы совершаются преимущественно дорогостоящими в эксплуатации вертолётами МИ-8 с крайне низкой регулярностью и неполной загрузкой.

Для обоснования строительства сети посадочных площадок в арктическом регионе разработана методика прогнозирования сезонного распределения пассажиропотоков местных авиaperевозок. В основу данной методики положен

метод иерархической кластеризации Варда, позволяющий с учётом большого количества критериев разделить все населённые пункты по кластерам, в каждом из которых спрос на авиaperевозки предьявляется в течение определённого количества месяцев.

Обосновывается, что строительство посадочной площадки в населённом пункте необходимо при наличии спроса на авиaperевозки более пяти месяцев в году. На примере 65 арктических населённых пунктов Республики Саха (Якутия) выделено пять кластеров, для трёх из которых доказывается необходимость строительства посадочных площадок. Определены зоны притяжения районных аэропортов на расстоянии 150 км с учётом возможности добраться из населённого пункта до аэропорта за 3–4 часа. На основании результатов кластеризации и выявления зон притяжения районных аэропортов построена прогнозируемая сеть размещения посадочных площадок в Республике Саха (Якутия).

Ключевые слова: воздушный транспорт, авиационная доступность, арктические регионы, отдалённые населённые пункты, посадочные площадки, вертодромы.

Для цитирования: Полешкина И. О., Воробьёв В. В. Развитие сети посадочных площадок и вертодромов: обеспечение авиационной доступности населённых пунктов арктических регионов // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 2 (105). С. 28–38. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-2-3>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие транспортной системы регионов арктической зоны представляет особый интерес для экономики России с точки зрения их освоения и развития. В них сосредоточены 90 % запасов угля, 80 % гидроэнергетических ресурсов, большие стратегические запасы нефти и газа, почти весь объём разведанных редких металлов и алмазов, половина железорудных залежей, 80 % лесных ресурсов и более 60 % запасов пресной воды. Поэтому первейшим и обязательным условием обеспечения жизнеспособности этих территорий является наличие надёжной транспортной системы, позволяющей круглогодично осуществлять перемещение входящих и исходящих, а также внутренних материальных и людских потоков в суровых природно-климатических условиях [1; 2]. Транспортная система арктических регионов обеспечивает их целостность, безопасность и интеграцию в общее экономическое пространство страны, создавая привлекательные условия для трудовой миграции.

С точки зрения транспортной обеспеченности арктическую зону (АЗ) России можно разделить на две части: Европейскую и Восточную Арктику. К Восточной Арктике относятся два района и отдельные сельские поселения Красноярского края, тринадцать районов Республики Саха (Якутия) и вся территория Чукотского автономного округа (рис. 1). Эти регионы отличаются довольно низким уровнем транспортной доступности, отсутствием железнодорожных и круглого-

дично действующих автомобильных магистралей.

Воздушный транспорт на этих территориях является безальтернативным в обеспечении круглогодичного сообщения. Однако за последние десятилетия аэропортовые и маршрутные сети заметно сократились, что привело к транспортной дискриминации отдалённых населённых пунктов и снижению уровня авиационной подвижности населения.

Стратегические задачи гарантирования безопасности государственных границ, развития грузоперевозок по Северному морскому пути, сохранения численности местного населения и освоения полезных ископаемых рассматриваемых регионов требуют разработки методов и методик обеспечения авиационной доступности в условиях низкой плотности населения.

Согласно Указу Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» в качестве одной из приоритетных задач определено развитие магистральной инфраструктуры страны для обеспечения экономической связанности территорий, в том числе за счёт развития подсистемы воздушного транспорта, за счёт реконструкции региональных аэропортов и расширения сети межрегиональных регулярных пассажирских перевозок. Распоряжением правительства РФ от 30.09.2018 г. № 2101-р «Об утверждении комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на



Рис. 1. Территория Восточной Арктики Российской Федерации.

(Карту подготовила А. В. Потураева, аспирантка географического факультета МГУ, по заказу

АНО «Институт регионального консалтинга» // Замятина Н. Будущее российской арктической урбанизации.

Интервью с Надеждой Замятиной. 05.05.2021 [Электронный ресурс]: <https://ion.ranepa.ru/news/budushchee-rossiyskoy-arkticheskoy-urbanizatsii-intervyu-s-nadezhdy-zamyatinoj/>. Доступ 03.02.2023).



период до 2024 года» установлен целевой показатель «авиационная подвижность населения», оцениваемый в количестве полётов в расчёте на 1 человека в год к 2024 году на уровне 0,95. Также этим распоряжением установлен дополнительный целевой показатель «повышение уровня транспортной обеспеченности субъектов РФ к уровню 2017 года в процентах», который в 2024 году должен составить 107,7 %¹.

В соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. № 207-р утверждена «Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года», в которой также определяются направления развития магистральной транспортной инфраструктуры за счёт «обеспечения устойчивого круглогодичного транспортного сообщения малонаселённых и островных территорий Арктической зоны, Дальнего Востока, изолированных от единой транспортной системы РФ, с административными центрами соответствующих субъектов РФ и другими субъектами РФ, в том числе за счёт реконструкции и строительства аэродромов и аэропортов местного значения на малонаселённых геостратегических территориях РФ»².

В контексте рассматриваемой темы важнейшее значение имеют «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года», утверждённая распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р, и «Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года», утверждённая Указом Президента Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 645, а также распоряжение правительства Республики Саха (Якутия) от 5 апреля 2019 года № 364-р о «Концепции развития малой авиации и авиации общего назначения в Республике Саха (Якутия)».

В настоящее время отсутствует единая методика оценки уровня транспортной до-

ступности и обеспеченности арктических регионов и районов, учитывающая сезонные ограничения использования различных видов транспорта [3]. Ещё менее изученными являются вопросы оценки и обеспечения авиационной доступности отдалённых северных населённых пунктов, круглогодичное транспортное сообщение с которыми поддерживается исключительно на основе нерегулярных воздушных рейсов.

Целью исследования являлась разработка методики прогнозирования сезонного распределения пассажиропотоков местных авиаперевозок. В основу её положен метод иерархической кластеризации Варда, позволяющий с учётом большого количества критериев разделить все населённые пункты по кластерам, в каждом из которых спрос на авиаперевозки предьявляется в течение определённого количества месяцев.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Система воздушного транспорта российских регионов Восточной Арктики

Исследования показали, что 98 % пассажирских перевозок в Восточной Арктике на территории России осуществляются воздушным транспортом, причём не только в межрайонном, но и во внутрирайонном (местном) сообщении. Однако уровень развития воздушного транспорта в этих регионах остается недостаточным.

Опыт Аляски и Северной Канады по организации транспортного сообщения в Арктике доказывает, что именно воздушный транспорт является основой не только пассажирских, но и срочных грузовых перевозок, имеющих большое социальное значение [4–6].

Недостаточный уровень развития системы воздушного транспорта приводит к транспортной дискриминации населения данных территорий [7–9]. Исследованию вопросов транспортной дискриминации посвящено большое количество работ, которые отражают последствия такой дискриминации. Среди них можно выделить низкую подвижность населения, отсутствие доступа к социально значимым услугам, плохое продовольственное обеспечение, завышенный уровень стоимости жизни [10–15].

Средняя авиационная подвижность населения Восточной Арктики, рассчитанная как количество вылетевших пассажиров за пределы региона регулярными рейсами, делён-

¹ Распоряжение правительства РФ от 30 сентября 2018 г. № 2101-р «Об утверждении комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года» [Электронный ресурс]: <https://mintrans.gov.ru/documents/2/9742>. Доступ 24.02.2023.

² Распоряжение Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. № 207-р «Об утверждении Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года» [Электронный ресурс]: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_318094/. Доступ 22.02.2023.

ное на численность проживающего населения, в 2019 году составила 1,4. В АЗ Красноярского края этот показатель составляет 1,43, в АЗ Республики Саха (Якутия) – 0,86, в Чукотском автономном округе – 1,64. Для сравнения, в Королевстве Норвегия в труднодоступных населённых пунктах этот показатель составляет 4,2 поездки в год на одного жителя, в Австралии – 3,3 поездки в год³. В Республике Саха (Якутия) (РС(Я)) по сравнению с 1989 годом на межрегиональных маршрутах этот показатель сократился в пять раз.

В процессе исследования выявлено, что авиаперевозки на территории регионов Восточной Арктики совершаются в два этапа: на местном уровне – от населённого пункта до центрального районного аэропорта нерегулярными рейсами и на межрайонном уровне – от центра арктического района до центра региона. Спрос на местные авиаперевозки влияет на формирование спроса на межрайонные перевозки и определяет заполняемость регулярно выполняемых межрайонных рейсов. Авиационная подвижность населения отдалённых населённых пунктов Восточной Арктики остаётся ещё на более низком уровне (от 0,3 до 0,6) в силу отсутствия регулярного сообщения с районными аэропортами.

Авиационная доступность определяется, с одной стороны, наличием и физической возможностью использования воздушного транспорта в любой момент времени, с другой стороны, приемлемым уровнем стоимости и длительности получения услуги перевозки для пользователя.

Таким образом, под *авиационной доступностью региона* понимается возможность за заданный промежуток времени совершить перелёт из определённых пунктов отправления в требуемые пункты назначения всеми заинтересованными субъектами с учётом стоимости перелёта и уровня их платёжеспособности.

Авиационная доступность регионов Восточной Арктики зависит от размещения аэропортовой сети, сети посадочных площадок и вертодромов; структуры маршрутной сети; регулярности полётов; используемого парка воздушных судов (ВС); мест базирова-

ния ВС, которые определяют ценовую и физическую доступность авиаперевозок для местного населения и хозяйствующих субъектов [16; 17].

За последние 30 лет количество аэропортов, функционирующих в России, сократилось практически в шесть раз, с 1450 до 240. Больше всего было закрыто аэропортов класса «Г–Е» (классификация по длине взлётно-посадочной полосы и несущей способности покрытия), то есть аэропортов регионального и местного значения, расположенных в труднодоступных районах Арктической зоны и Дальнего Востока [18], что привело к обострению проблем транспортной связанности этих территорий. По сравнению с 1991 годом количество аэропортов в Восточной Арктике сократилось в три раза и составило 33 аэропорта, в расчёте на 1000 км² площади – 0,01 аэропорта. Практически все действующие аэропорты расположены в районных центрах. Для сравнения, на территории Аляски, площадью в 1 718 000 км² и численностью населения 731 454 человека, действует 459 аэропортов, 300 из которых государственные и 159 – частные. То есть в расчёте на 1000 км² приходится 0,26 аэропорта [16].

В этих условиях авиационная доступность отдалённых арктических населённых пунктов определяется наличием в них посадочных площадок и вертодромов, а также частотой выполняемых рейсов в районный аэропорт. Всего на территории Восточной Арктики насчитывается около 220 населённых пунктов с численностью населения от 1500 до 10 человек. Между центрами арктических районов и населёнными пунктами, в условиях отсутствия аэродромов и посадочных площадок надлежащего качества, нерегулярное авиасообщение осуществляется вертолётной техникой вместимостью 22–24 кресла. Для сравнения стоимость лётного часа вертолёта МИ-8 из-за высоких затрат на топливо в четыре раза превышает стоимость лётного часа самолёта Ан-2 вместимостью 9–12 кресел. Неполная загрузка планируемых местных рейсов заставляет авиакомпании сокращать их количество, что приводит к ещё большему снижению уровня авиационной подвижности населения, и как следствие, к рискам снижения уровня социально-экономического развития территорий. По данным Министерства транспорта и дорожного хозяйства Республики Саха (Якутия), в среднем рейсы местных

³ Распоряжение Правительства РФ от 27 ноября 2021 г. № 3363-р «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г.». [Электронный ресурс]: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11577>. Доступ 27.05.2022.





Рис. 2. Динамика пассажиропотока и авиационной подвижности населения на ВВЛ и МВЛ Арктической зоны Республики Саха (Якутия) [составлено авторами на основании статистических данных Транспортно-клиринговой палаты].

воздушных линий (МВЛ) в АЗ РС(Я) выполняются два раза в месяц.

Исследования показали, что на территории АЗ РС(Я) в отдалённых населённых пунктах проживает около 30 % населения. Коэффициент местной авиационной подвижности этого населения (количество совершенных перелётов из населённого пункта в районный аэропорт в расчёте на одного жителя в год) в среднем за пять лет составляет 0,38. При этом коэффициент внутрирегиональной авиационной подвижности населения (количество совершенных перелётов за пределы арктического района в расчёте на одного жителя в год) составляет 1,06 (рис. 2). Количество пассажиров, вылетевших внутрирегиональными (ВВЛ) и местными воздушными линиями (МВЛ), за пять лет сокращается. В 2020 году резкий спад обусловлен ограничением полётов из-за распространения COVID-19.

Увеличения местной авиационной подвижности населения можно добиться путём развития сети посадочных площадок в населённых пунктах. Это позволит повысить частоту выполняемых рейсов за счёт замены вертолётной техники на воздушные суда типа Ан-2/ТВС-2МС. Строительство и содержание посадочных площадок целесообразно при наличии спроса на местные авиаперевозки в течение не менее полугода.

Исследования показали, что сезонное распределение спроса на авиаперевозки в арктических населённых пунктах составляет от 3 до 12 месяцев и зависит от большого количества критериев. Для оценки сезонного распределения пассажиропотоков местных авиаперевозок впервые был применён метод иерархической

кластеризации населённых пунктов. Данный метод позволяет с помощью учёта большого количества критериев и измерения нормированного расстояния между поселениями разделить все населённые пункты на кластеры, в каждом из которых спрос на авиаперевозки предьявляется в течение определённого количества месяцев. Для каждого кластера в отдельности принимается решение о необходимости строительства посадочных площадок.

Методология иерархической кластеризации арктических населённых пунктов

Кластерный анализ является одним из методов интеллектуального анализа данных, используемого при развитии машинного обучения и искусственного интеллекта при разработке управленческих решений [19].

Для решения поставленной задачи с помощью экспертной оценки было выделено 18 критериев, влияющих на размер и сезонное распределение пассажиропотоков местных и межрайонных авиаперевозок, табл. 1.

В качестве квалифицированных специалистов-экспертов выступили 30 человек, среди которых сотрудники региональных департаментов воздушного транспорта, главы арктических районов, представители авиакомпаний и аэропортов. Каждый эксперт должен был сформировать ранжированный перечень критериев, влияющих на пассажиропотоки местных и межрайонных авиаперевозок. В результате оценок экспертов была получена матрица r_{ju} ($u = \overline{1, d}; j = \overline{1, n}$), где r_{ju} – ранг критерия j , присваиваемый экспертом u . Сумма рангов каждого критерия по строке будет иметь вид:

Таблица 1

Критерии, определяющие сезонное распределение пассажиропотоков воздушного транспорта арктического региона [составлено авторами]

№	Критерии	Уровень
1	Численность населения в населённом пункте/районном центре, чел.	X1
2	Расстояние перелёта от населённого пункта до районного аэропорта, км	X2
3	Расстояние от населённого пункта до районного аэропорта по автозимнику, км	X3
4	Размер компенсации расходов (при проезде к месту проведения отпуска) на перелёт между населённым пунктом и районным аэропортом, руб.	X4
5	Расстояние перелёта от районного аэропорта до центра региона, км	X5
6	Средний размер стоимости перелёта экономическим классом из районного аэропорта до центра региона, руб.	X6
7	Средний ежемесячный ФОТ одного работника в районе, руб.	X7
8	Доля стоимости перелёта из районного аэропорта до центра региона в среднемесечном ФОТ одного работника в районе	X8
9	Наличие в населённом пункте добычи полезных ископаемых	X9
10	Общее расстояние перелёта от арктического населённого пункта до центра региона, км	X10
11	Местная авиационная подвижность населения, перелётов в год на одного жителя	X11
12	Численность населения в расчёте на количество совершаемых авиационных рейсов между населённым пунктом в районный аэропорт в год, чел./рейс	X12
13	Наличие альтернативных видов сообщения между населённым 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 населённом пункте	X16
17	Комплексный коэффициент транспортной доступности [20]	X17
18	Отнесение территории к районам Крайнего Севера	X18

$$r_j = \sum_{u=1}^d r_{ju} \cdot (j = \overline{1, n}). \tag{1}$$

Тогда дисперсия оценок экспертов Dr определяется по формуле:

$$D_{ep} = \frac{1}{d-1} \sum_{u=1}^d (r_{ju} - r)^2; \tag{2}$$

$$r_{cp} = \frac{1}{d} \sum_{u=1}^d r_{ju}. \tag{3}$$

Для решения задачи кластеризации населённых пунктов из общего количества критериев были отобраны девять, которые по мнению всех экспертов напрямую влияют на формирование пассажиропотоков местных авиаперевозок. После оценки парной корреляции было выбрано семь из них, с корреляцией менее 0,6.

Наиболее значимые результаты для распределения населённых пунктов по кластерам позволяет получить метод Варда, который может применяться при небольшом количестве наблюдений. Целевой функцией при

использовании метода Варда является минимизация приращения внутригрупповой суммы квадратов отклонений расстояний между каждой точкой (населённым пунктом) и средней по кластеру, содержащему этот объект. На каждом шаге объединяются такие два кластера, которые приводят к минимальному увеличению целевой функции. Для решения поставленной задачи метод Варда реализуется по формуле Ланса–Вильямса для формирования непересекающихся кластеров населённых пунктов K_i, K_j, K_l , размерностью n_i, n_j, n_l соответственно; p_{ij}, p_{il}, p_{jl} – попарные расстояния между кластерами K_i, K_j, K_l . Если кластеры K_i, K_j расположены рядом и могут быть объединены в один, тогда $p_{(ij)k}$ – расстояние между новым кластером $K_i \cup K_j, K_l$, рассчитываемое рекурсивно:

$$p_{(ij)k} = \alpha_i p_{il} + \alpha_j p_{jl} + \beta p_{ij} + \gamma |p_{il} - p_{jl}|, \tag{4}$$



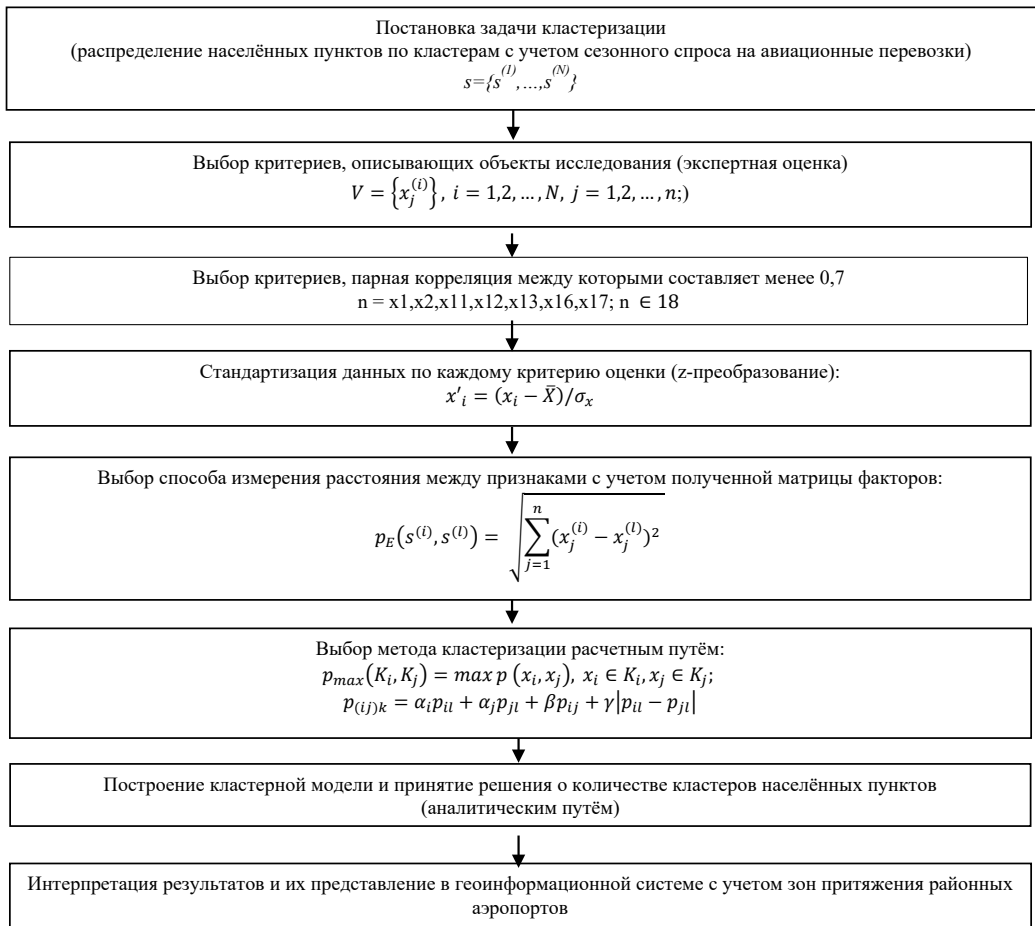


Рис. 3. Математическое описание методологии иерархической кластеризации арктических населённых пунктов для оценки сезонного распределения пассажиропотоков местных авиаперевозок [составлено авторами].

где $\alpha_i, \alpha_j, \beta, \gamma$ – параметры, которые зависят от размеров кластеров населённых:

$$\alpha_i = \frac{n_i + n_l}{n_i + n_j + n_l}; \quad (5)$$

$$\alpha_j = \frac{n_j + n_l}{n_i + n_j + n_l}; \quad (6)$$

$$\beta = \frac{-n_l}{n_i + n_j + n_l}; \quad (7)$$

$$\gamma = 0. \quad (8)$$

Расстояние между новой парой кластеров находится по формуле:

$$p(K_i \cup K_j, K_l) = \frac{n_i + n_l}{n_i + n_j + n_l} p(K_i, K_l) + \frac{n_j + n_l}{n_i + n_j + n_l} p(K_j, K_l) - \frac{n_l}{n_i + n_j + n_l} p(K_i, K_j). \quad (9)$$

Для определения оптимального количества кластеров анализируется евклидово

расстояние между населёнными пунктами на каждом шаге кластеризации. Выбирается тот шаг кластеризации, при котором произошло первое большое увеличение евклидова расстояния, далее выбирается количество кластеров, сформированное на этом шаге.

Математическое описание методики иерархической кластеризации арктических населённых пунктов представлено на рис. 3.

Результаты иерархической кластеризации населённых пунктов

Метод кластеризации для прогнозирования сезонного распределения спроса на местные авиаперевозки был использован на примере 65 населённых пунктов Республики Саха (Якутия). Для вычисления расстояния между кластерами использовалась программа *Statistica*. Было установлено, что для решения

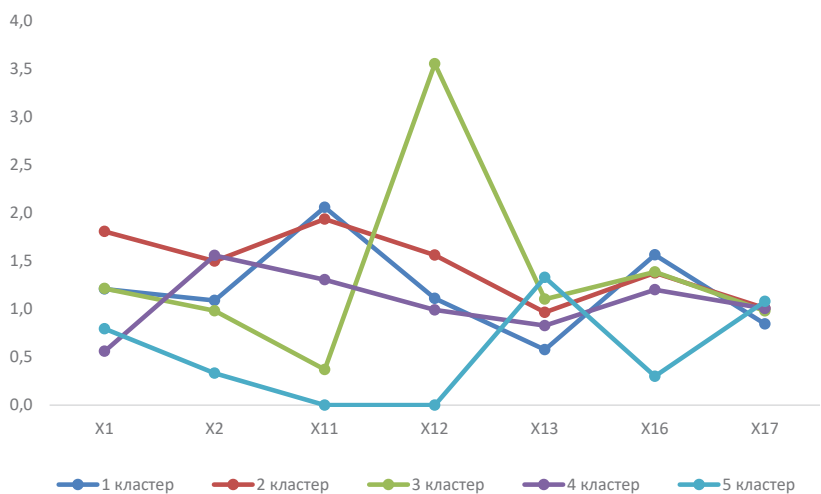


Рис. 4. Средние нормированные значения критериев по кластерам арктических населённых пунктов Республики Саха (Якутия) [составлено авторами].

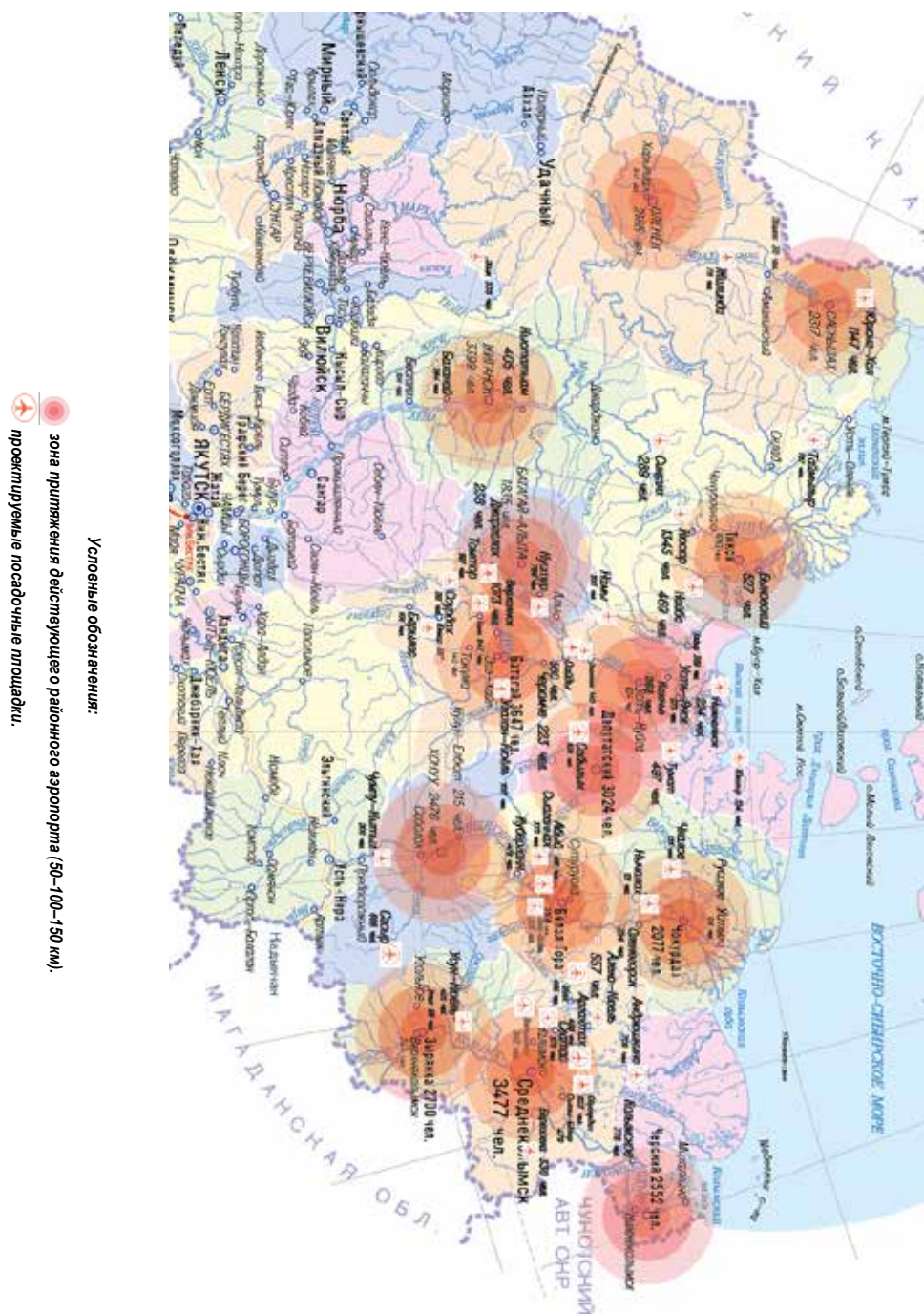
Таблица 2

Максимальные, минимальные и средние натуральные значения критериев по кластерам населённых пунктов Республики Саха (Якутия) [составлено авторами]

Критерии			Кластеры				
			I	II	III	IV	V
Переменные		Значения	Количество населенных пунктов				
			11	10	6	16	22
Численность населения, чел	X1	Mean Min-max	452 (242–578)	676 (469–1017)	454 (254–778)	210 (53–479)	297 (66–841)
Расстояние до районного аэропорта по прямой, км	X2	Mean Min-max	101 (39–159)	139 (67–261)	91 (60–133)	144 (53–249)	31 (1–76)
Авиационная внутриулуcная подвижность населения	X11	Mean Min-max	0,50 (0,39–0,56)	0,47 (0,20–0,77)	0,09 (0,05–0,14)	0,32 (0,17–0,77)	0,00
Количество человек в расчете на число выполненных рейсов через районный аэропорт в год	X12	Mean Min-max	28 (20–32)	39 (15–56)	89 (47–185)	25 (10–56)	0
Наличие альтернативных видов сообщения с районным аэропортом	X13	X	автозимник	автозимник и водный транспорт	автозимник и водный транспорт	Автозимник и водный транспорт	Круглогодичное сообщение
Наличие в населенном пункте посадочной полосы, всего (действ/ не действ.)	X16	Всего (действ/не действ.)	11 (8/3)	8 (6/2)	5 (3/2)	10 (8/2)	2 (1/1)
Коэффициент авиационной транспортной доступности	X17	Mean Min-max	0,392 (0,381–0,438)	0,468 (0,430–0,512)	0,455 (0,379–0,512)	0,466 (0,407–0,544)	0,501 (0,396–0,544)
Количество месяцев в году, в течение которых предъявляется спрос на авиаперевозки	$q^{с'}$	X	8 (май–ноябрь)	12 (январь–декабрь)	3 (май, октябрь, ноябрь)	12 (январь–декабрь)	0 X



Рис. 5. Зоны притяжения действующих районных аэропортов и проектируемая сеть посадочных площадок для обслуживания местных авиалинейных пунктов Республики Саха (Якутия) [составлено авторами].



поставленной задачи наиболее оптимальным является выделение пяти кластеров населённых пунктов, так как на этом шаге происходит наибольшее увеличение евклидова расстояния между кластерами. Средние нормированные значения критериев по кластерам представлены на рис. 4.

Кластеры населённых пунктов, сформированные методом Варда, достаточно равномерны по количеству и включают 11, 10, 6, 16 и 22 населённых пункта соответственно. Характеристика полученных кластеров населённых пунктов в натуральных величинах представлена в табл. 2.

В первый кластер попали населённые пункты со средней численностью населения, расположенные от районного аэропорта на расстоянии не более 160 км, с наиболее высокой авиационной подвижностью населения. Так как с населёнными пунктами этого кластера имеется альтернативное сообщение по автозимникам, то спрос на авиаперевозки до районного аэропорта предъявляется только восемь месяцев в году.

Во второй кластер попали наиболее крупные населённые пункты, расположенные на расстоянии до 265 км от районного аэропорта. В силу большой удалённости спрос на местные авиаперевозки предъявляется 12 месяцев в году.

В третий кластер попали средние по численности населённые пункты, расположенные на расстоянии не более 135 км от районного аэропорта и имеющие с ним как водное (летом), так и автомобильное сообщение (зимой). В результате они предъявляют спрос на местные авиаперевозки только три месяца в году в период межсезонья.

В четвёртый кластер попали малонаселённые пункты, расположенные от районного аэропорта на расстоянии до 250 км, со средней авиационной подвижностью населения. В силу большой удалённости они также предъявляют спрос на авиаперевозки 12 месяцев в году.

Населённые пункты пятого кластера спрос на авиаперевозки не предъявляют в силу наличия круглогодичного сообщения с районным аэропортом.

На основании анализа пассажиропотоков местных авиалиний в арктических регионах и нормативов времени, затрачиваемых на поездку пассажиров от населённого пункта до районного аэропорта, было установлено,

что максимальное расстояние притяжения районного аэропорта составляет 150 км, так как такое расстояние можно преодолеть по автозимнику за три часа. Расчёт расстояния притяжения районного аэропорта подтверждается данными зарубежных исследований, проводимых в Северной Канаде и на Аляске [5, 6].

В арктических населённых пунктах, не попадающих в зону притяжения районного аэропорта, необходимо строительство посадочной площадки для организации регулярного воздушного сообщения с частотой не менее одного раза в неделю.

Таким образом, решение о строительстве посадочной площадки в арктическом населённом пункте принимается в следующих случаях:

1. Населённый пункт не попадает в зону притяжения действующего районного аэропорта.

2. Населённый пункт попадает в зону притяжения районного аэропорта, спрос на пассажирские авиаперевозки с ним предъявляется более пяти месяцев в году.

Проектируемая сеть посадочных площадок Республики Саха (Якутия), построенная на основе результатов оценки сезонного распределения пассажиропотоков, представлена на рис. 5. Окружностями с градиентной заливкой на карте отмечены зоны притяжения действующих районных аэропортов с шагом в 50 км. Значком обозначены места строительства посадочных площадок. С двенадцатью населёнными пунктами: Таймалыр, Жилинда, Эйик, Сиктях, Намы, Суордах, Нижнеянкс, Юкагир, Тумат, Сасыр, Алеко-Кюель, Андрушкино, расположенными вне зоны притяжения действующих районных аэропортов, необходимо организовать регулярное авиасообщение.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Разработанная методика иерархической кластеризации арктических населённых пунктов позволяет упростить задачу обоснования потребности строительства сети посадочных площадок на основании учёта большого количества критериев.

Дальнейшего исследования требуют вопросы прогнозирования объёмов пассажиропотоков местных авиаперевозок с учётом их сезонного распределения. Прогнозирование пассажиропотоков позволит рассчитывать по-



требность в парке воздушных судов по количеству и типоразмерам при заданной регулярности совершения полётов. Использование лёгких самолётов вместимостью до 9–12 кресел обеспечит большую их загрузку с возможностью увеличения регулярности полётов, что в свою очередь, повысит уровень авиационной доступности арктических населённых пунктов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лексин В. Н., Порфирьев Б. Н. Специфика трансформации пространственной системы и стратегии освоения Российской Арктики в условиях изменений климата // Экономика региона. – 2017. – Т. 13. – Вып. 3. – С. 641–657. DOI: 10.17059/2017-3-1.
2. Лексин В. Н., Порфирьев Б. Н. Другая Арктика: опыт системной диагностики // Проблемы прогнозирования. – 2022. – № 1 (190). – С. 34–44. DOI: 10.47711/0868-6351-190-34-44.
3. Egorova, T., Delakhova, A. 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), Transportation, Sustainability and Decarbonization, 2023, Vol. 371, Art. 04034, 7p. DOI: 10.1051/e3sconf/202337104034.
4. Грузинов В. М., Зворыкина Ю. В., Иванов Г. В. [и др.]. Арктические транспортные магистрали на суше, акваториях и в воздушном пространстве // Арктика: экология и экономика. – 2019. – № 1 (33). – С. 6–20. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-1-6-20.
5. Civil Aviation Infrastructure in the North – Transport Canada, 2017. Reports of the Auditor General of Canada to the Parliament of Canada, 2017. [Электронный ресурс]: https://www.oag-bvg.gc.ca/internet/English/parl_oag_201705_06_e_42228.html. Доступ 17.12.2022.
6. Alaska Aviation System Plan, Phase III, CFAPT00484 | AIP 3–02–0000–024–2018. Alaska Department of Transportation & Public Facilities Statewide Aviation, January 2021. [Электронный ресурс]: <https://www.alaskaasp.com/documents.aspx>. Доступ 10.06.2022.
7. Button, K. J., Doh, S., Yuan, J. The role of small airports in economic development. Journal of Airport Management, 2010, Vol. 4, Iss. 2, pp. 125–136. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/251864448_The_role_of_small_airports_in_economic_development. Доступ 17.02.2023.
8. Pot, F. J., Koster, S. Small airports: Runways to regional economic growth? Journal of Transport Geography, 2022, Vol. 98, art. 103262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103262>.
9. Егорова Т. П., Делыхова А. М. Разработка инструментария оценки дифференциации уровня транспортной доступности северного региона // Теоретическая и прикладная экономика. – 2020. – № 4. – С. 81–94. DOI: 10.25136/2409-8647.2020.4.34637.
10. Егорова Т. П. Транспортная мобильность, как индикатор качества жизни населения северных территорий России // Арктика XXI. Гуманитарные науки. – 2022. – № 4 (30). – С. 28–43. DOI: 10.25587/SVFU.2022.60.56.003.
11. Ayele, Y. Z., Barabadi, A., Barabady, J. Dynamic spare parts transportation model for Arctic production facility. International Journal of System Assurance Engineering and Management, 2015, Vol. 7, Iss. 1, pp. 84–98. DOI: 10.1007/s13198-015-0379-x.
12. Fauzer, V. V. Demographic potential of the Russia's northern regions as a factor and condition of economic development of the Arctic. Economy of Region, 2014, Vol. 4, Iss. 40, pp. 69–81. DOI: 10.17059/2014-4-5.
13. Große, C. Airports as Critical Infrastructure: The Role of the Transportation-by-Air System for Regional Development and Crisis Management. 2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). Macao, 2019, pp. 440–444. DOI: 10.1109/IEEM44572.2019.8978905.
14. Егошин С. Ф., Смирнов А. В. Авиатранспортная доступность и транспортная дискриминация населения субъектов РФ // Научный вестник МГТУ ГА. – 2018. – Т. 21. – № 3. – С. 78–90. DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-3-78-90.
15. Неретин А. С., Золотова М. В., Ломкина А. И., Тархов С. А. Транспортная связанность и освоённость Восточных регионов России // Известия РАН. Серия Географическая. – 2019. – № 6. – С. 35–52. DOI: 10.31857/S2587-55662019635-52.
16. Полешкина И. О. Роль малой авиации в обеспечении транспортной доступности арктических регионов: проблемы и направления развития // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2022. – Т. 25. – № 2. – С. 54–69. DOI: 10.26467/2079-0619-2022-25-2-54-69.
17. Егошин С. Ф., Смирнов А. В. Обоснование рациональных требований к самолётам местных воздушных линий России на основе моделирования авиатранспортной системы с учётом перспективных критериев эффективности // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2022. – Т. 25. – № 6. – С. 40–52. DOI: 10.26467/2079-0619-2022-25-6-40-52.
18. Немудрый К. В. Аэродромы и аэропорты как элемент системы региональной авиации России // Труды МАИ. – 2014. – № 75. – 9 с. [Электронный ресурс]: <https://mai.ru/upload/iblock/3d8/3d861abaeabeacea2d677527b4fe34ca.pdf>. Доступ 11.03.2022.
19. Бериков В. Б., Лбов Г. С. Современные тенденции в кластерном анализе // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы», 2008. – 26 с. [Электронный ресурс]: https://biocomparison.ucoz.ru/_id/0/49_berikov_ibov.pdf. Доступ 15.06.2022.
20. Полешкина И. О. Методика оценки транспортной доступности населённых пунктов Арктической зоны России // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 5. – С. 32–37. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48470704> [платный доступ].

Информация об авторах:

Полешкина Ирина Олеговна – кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела научных исследований Московского государственного технического университета гражданской авиации (МГТУ ГА), Москва, Россия, ipoleshkina@mail.ru.

Воробьёв Вадим Вадимович – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе и инновациям Московского государственного технического университета гражданской авиации (МГТУ ГА), Москва, Россия, v.vorobjev@mstuca.aero.

Статья поступила в редакцию 20.03.2023, одобрена после рецензирования 11.05.2023, принята к публикации 18.05.2023.