

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ИЕРАРХИИ АВИАУЗЛОВ РОССИИ

Д.В. Кокорин¹, О.В. Сорокин²

¹ *Российский университет транспорта (МИИТ), Академия транспортного планирования*

² *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России*

¹ *Руководитель проектов отдела развития инфраструктуры; e-mail: dvkokorin@mail.ru*

² *Аспирант; e-mail: sorokin.oleg.98@mail.ru*

Для России характерен высокий уровень централизации пассажирских перевозок в Московском авиационном узле. Это связано с концентрацией здесь транзитных корреспонденций между региональными аэропортами. Разгрузка главного авиаузла России возможна за счет развития региональных авиахабов. Гипертрофия Московского авиационного узла обусловлена также распадом единой авиационной сети СССР, рудиментом которой является авиационная сеть Российской Федерации. Разъединение означало выход системы авиаузлов из состояния равновесия – свойства системы поддерживать свои параметры путем саморегуляции. Сейчас наблюдается восстановление равновесия в новых государственных границах. Целесообразно развивать авиахабы на базе крупнейших аэропортов, которые своим устойчивым положением в иерархии авиаузлов обеспечивают равновесие всей системы.

Равновесие в системе авиаузлов описывается правилом «ранг – размер». Для проверки соответствия правилу гипертрофированной системы авиаузлов России применяется математическая модель Ю.В. Медведкова. Она позволяет оценить соразмерность Московского авиационного узла всей системе (коэффициент первенства), меру контрастов между авиаузлами и определить степень отклонения от их распределения в соответствии с правилом «ранг – размер». Правило впервые апробировано на примере иерархии крупнейших аэропортов, что обусловлено методологией подхода. Исследование базируется на данных о ежегодном пассажирообороте 30 крупнейших аэропортов России в 2013–2023 гг. и об отправлениях пассажиров из 30 крупнейших аэропортов СССР в 1960–1981 гг.

Анализ показывает, что система авиаузлов России в 2013–2023 гг. приближается к распределению в соответствии с правилом «ранг – размер»: наблюдается тенденция к снижению коэффициента первенства Московского авиационного узла и децентрализации. Изменения происходят главным образом за счет роста пассажирооборота узлов верхнего сегмента иерархии. Ключевыми факторами устойчивости авиаузлов в иерархии являются специализация территории и транспортно-географическое положение. Система авиаузлов СССР в 1960–1981 гг. более полицентрична и менее контрастна. Сходство значений коэффициента первенства Московского авиационного узла в 2020–2023 гг. и в советский период, сопоставление тенденций в развитии систем авиаузлов позволяют предположить, что ослабление международных связей Москвы способствовало укреплению связей между следующими в иерархии авиаузлами. Таким образом, формирование региональных авиахабов на базе крупнейших аэропортов России соответствует тенденции развития авиатранспортной системы.

Ключевые слова: авиахабы, иерархия аэропортов, Московский авиационный узел, правило «ранг – размер», СССР

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.2.9

ВВЕДЕНИЕ

Конфигурация транспортной сети является отражением территориальной структуры расселения и хозяйства. В большей степени это касается сетей сухопутного транспорта. Сети воздушного транспорта не имеют явно выраженной территориальной конфигурации и представляют собой совокупности узлов и связей между ними. В качестве узловых элементов выступают аэропорты или аэродромы¹, которые могут составлять иерархически организо-

ванные системы. Место узла в иерархии обычно определяют размеры обслуживаемых им пассажирских или грузовых потоков и количество связей с другими узлами [Rodrigue, 2020]. Структура иерархии авиаузлов в значительной мере повторяет структуру иерархии городов. Примерами могут служить полицентричные системы аэропортов США, Китая, Германии или моноцентричные системы Франции, Великобритании, Аргентины.

Для авиатранспортной системы России характерна моноцентричная структура с гипертрофированным главным узлом. Московский авиационный узел (далее – МАУ) объединяет четыре аэропорта,

¹ По этой причине понятия «аэропорт» и «авиаузел» в статье используются как взаимозаменяемые.

обслуживающих Московскую агломерацию: Шереметьево, Домодедово, Внуково и Жуковский (с 2016 г.)². Но степень концентрации авиаперевозок в главном авиаузле кратно выше, чем численность населения агломерации. Доля МАУ во внутренних пассажирских корреспонденциях в некоторые годы превышала 70% при доле населения Московской агломерации около 15% от общей численности населения России³.

Такая концентрация – следствие того, что через Москву осуществляется большая часть транзитных перевозок между региональными аэропортами. Ввиду данного обстоятельства МАУ выполняет функцию главного авиахаба России. Под авиахабом мы понимаем «крупный узловый аэропорт, в пассажирообороте которого высока доля транзитных пассажиров, прибывших в аэропорт и отправляемых в течение короткого промежутка времени специально состыкованными рейсами по веерному расписанию» [Семенов, 2013].

Высокий уровень централизации авиасообщений делает систему более уязвимой при сбоях в главном узле [Rodrigue, 2020], поэтому в мире распространена практика создания и развития региональных авиахабов. Она давно применяется в США [Shaw, 1993] и Европе [Borenstein, 1989], где способствует снижению себестоимости перемещений [Hansen, 1990] и формированию экономически эффективных региональных авиасистем [Halás et al., 2020]. Разгрузка главного узла за счет создания сети региональных авиахабов не только повышает уровень безопасности авиатранспортной системы в целом, но и улучшает связность регионов страны, что особенно актуально в условиях обширного пространства России, в некоторых частях лишенного иных путей сообщения.

При хабовой системе уменьшается средняя дальность полетов и повышается нагрузка воздушных судов [Сорокин, Самбуров, 2021]. Рост пассажирооборота крупнейших региональных аэропортов происходит, в том числе, за счет увеличения числа пересадочных пассажиров [Сорокин, 2022]. Структура местных авиалиний упрощается вследствие концентрации пассажиропотоков по наиболее удаленным и / или недоступным для наземного транспорта направлениям и прекращения полетов между парами аэропортов местного значения.

Некоторые крупнейшие аэропорты России уже развиваются как региональные хабы [Сорокин, Волошок, 2023]. Тенденции формирования региональных хабов способствует снижение доли пассажирских перевозок через МАУ с 2014 г. при общем увеличении их объема по стране [Шульгина, Головкин, 2022]. Основными факторами роста пассажиропотоков между региональными аэропортами являются государственные меры по субсидированию региональных воздушных перевозок и формированию региональной маршрутной авиационной сети, развитие туристской отрасли, повышение экономической активности населения [Ростислав и др., 2023].

Мы полагаем, что гипертрофия МАУ обусловлена еще и тем, что сеть авиалиний России изначально складывалась как часть большей по территориальному охвату сети авиалиний Советского Союза, в которой также была велика роль главного узла, но который был более соразмерен ей. Разделение страны в 1991 г., распад единой сети и уменьшение авиационной связанности обособившейся территории Российской Федерации по экономическим и иным причинам привели к непропорционально большой централизации авиасообщений [Тархов, 2015].

Систему авиаузлов мы рассматриваем как открытую систему, функционирование которой определяется состоянием динамического равновесия, т. е. система сохраняет свои свойства за счет саморегуляции, а при внешнем воздействии стремится восстановить их – вернуться в равновесное состояние. Мы предполагаем, что высокий уровень централизации в авиатранспортной системе Российской Федерации стал результатом выхода из состояния равновесия после распада сети, охватывавшей большее пространство, и сейчас наблюдается ее возвращение к равновесию в новых государственных границах.

Исходя из гипотезы, мы считаем, что региональные авиахабы целесообразно развивать на базе тех крупнейших аэропортов, чье место в иерархии наиболее устойчивое, так как это обеспечивает равновесие всей системы. Цель исследования – обосновать развитие региональных авиахабов с точки зрения равновесия системы авиаузлов, для чего необходимо проанализировать динамику ее развития в разных границах (России и СССР) и определить основные факторы, влияющие на устойчивость узлов в иерархии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для городов в границах одной страны, т. е. заведомо тесно связанных между собой, в той или иной мере должно соблюдаться правило «ранг – размер», известное также как «закон Ципфа» или «правило Ципфа» [Zipf, 1949]: второй город по людности

² Федеральное агентство воздушного транспорта России (Росавиация) не включает в состав МАУ аэропорт Жуковский, однако он также обслуживает население Московской агломерации, поэтому мы рассматриваем его вместе с другими. Пятый аэропорт – Остафьево специализируется на обслуживании пассажиров ПАО «Газпром» и потому не учитывается.

³ Для сравнения, Лондон концентрирует 59% авиаперевозок при 21% жителей страны, Париж – 60% при 20% жителей, Буэнос-Айрес – 52% при 33% жителей.

вдвое меньше, чем первый; третий – вдвое и т. д. (закономерность описана во множестве работ, начиная с [Auerbach, 1913]). Распределение городов чувствительно к географическим границам поселений [Коломак, 2018] и носит вероятностный характер, т. е. соблюдается не для всех естественным образом выделяемых совокупностей городов [Гусейн-Заде, 1988]. Правило описывает наиболее вероятное их распределение, которое можно расценивать и как равновесное состояние системы в определенных условиях. В отечественных исследованиях последних лет на соответствие правилу «ранг – размер» проверялись города России в динамике с конца XIX в. [Растворцева, Манаева, 2019], а среди транспортных объектов (в статике) – железнодорожные узлы [Самбулов, 2020].

В системах городов с гипертрофированным или недостаточно развитым главным городом правило «ранг – размер» нарушается. Ю.В. Медведков для описания особенностей таких систем предложил математическую модель, показывающую распределение городов в зависимости от их людности на логарифмическом графике. Для выявления тенденций, присутствующих в системе, достаточно совокупности из первых по людности 20–30 городов – как наиболее значимых и оказывающих влияние друг на друга. В подробностях методика и порядок расчетов изложены в [Медведков, 1964]. Хотя в современной литературе примеров использования модели немного, например исследование городов Казахстана [Искалиев, 2017], отмечается (там же), что модель Медведкова более точно показывает распределение городов по людности, чем классическое правило «ранг – размер».

Математическую модель Ю.В. Медведкова описывает следующее уравнение:

$$P_j = k^{-1} \cdot P_1 \cdot j^{-a}, \quad (1)$$

где P_j – размер (людность) j -го города в системе городов, P_1 – размер (людность) первого города в системе городов, j – ранг (порядковый номер) города по людности, a – мера контрастов в размерах городов, которая рассчитывается по формуле:

$$a = \frac{n \sum \lg j \cdot \lg P_j - \sum \lg j \cdot \sum \lg P_j}{n \sum (\lg j)^2 - \sum \lg j \cdot \sum \lg j}, \quad (2)$$

где n – количество городов в выборке, k – коэффициент первенства главного города, показывающий, насколько его размер соответствует размерам городов всей системы; рассчитывается как отношение P_1 и C – теоретической людности главного города в соответствии с правилом «ранг – размер», где

$$C = \frac{\sum \lg P_j \cdot \sum (\lg j)^2 - \sum \lg j \cdot \sum \lg j \cdot \lg P_j}{n \sum (\lg j)^2 - \sum \lg j \cdot \sum \lg j}. \quad (3)$$

Дополняет уравнение коэффициент корреляции r , характеризующий связь между людностью городов и их рангом, т. е. степень расхождения между общей тенденцией в развитии системы и фактическими размерами городов:

$$r = \frac{\mu_{1/1}}{\sigma_j \cdot \sigma_p}, \quad (4)$$

где

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum (\Delta \lg j)^2}{n}}, \quad (5)$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum (\Delta \lg j)^2}{n}}, \quad (6)$$

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum (\Delta \lg P_j)^2}{n}}. \quad (7)$$

Пассажирооборот аэропортов является более динамичной величиной, привязанной к конкретным условиям размещения аэропорта, вследствие чего имеет смысл рассматривать показатель за несколько лет. Мы анализировали данные за 2013–2023 гг., доступные в статистических отчетах Росавиации и пресс-релизах аэропортов. Выборка включает 37 крупнейших аэропортов России по объему пассажирооборота (30 за каждый год), аэропорты в составе МАУ рассматривались как один объект, пассажирооборот аэропорта Симферополя в 2013 г. не учитывался. После проведения расчетов для каждого года строился график в логарифмическом масштабе, описывающий структуру иерархии авиаузлов и показывающий разрыв между реальным и теоретическим размером главного авиаузла. Чем меньше отклонение от прямой линии, тем более уравновешена система авиаузлов.

В качестве кросс-проверки гипотезы мы сравнивали динамику 2013–2023 гг. с динамикой советского периода, предполагая, что система авиаузлов СССР предстанет в более равновесном состоянии. Источниками информации за советский период послужили сведения об отправлениях пассажиров⁴ из аэропортов СССР за 1960–1981 гг. из справочников «Перевозки пассажиров на воздушном транспорте между основными городами СССР» Государственного научно-исследовательского института гражданской авиации и кратких статистических справочников «Аэрофлота». Использованы данные о 39 аэропортах по отправлениям пассажиров (30 крупнейших за каждый год). Так как за некоторые годы для

⁴ Показатель отправки пассажиров, как правило, примерно вдвое меньше показателя пассажирооборота, тем не менее их сопоставление корректно, поскольку оба показателя отражают соотношение объемов обслуженных пассажиров в аэропортах, а для расчетов все значения логарифмируются.

части аэропортов имелась статистика только за 10 или 11 месяцев, то производился дорасчет годового объема перевозок по формуле: $y = x/z \cdot 12$, где y – расчетный объем перевозок пассажиров за 12 месяцев, x – значение объема перевозок за 10 или 11 месяцев, z – количество месяцев, за которые есть данные (10 или 11).

Поскольку нарушение равновесия в системе авиаузлов связывалось с изменением границ, то устойчивость узла в иерархии оценивалась, в том числе, по географическому положению, для чего строились картосхемы. Отношение количества появлений авиаузла в выборке к усредненному рангу за рассматриваемый период определяло масштаб узла на картосхеме.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Значение коэффициента первенства МАУ в 2013–2023 гг. снижалось после 2014 г. с 2,81 до 1,33, т. е. в 2023 г. размер главного авиаузла России по пассажирообороту приблизился к его теоретическому размеру согласно правилу «ранг – размер». Он превышает размер второго узла Санкт-Петербурга в 3,5 раза, тогда как в период с 2013 по 2019 г. превышение было более чем в 5 раз. Коэффициент корреляции r изменялся от –0,957 и –0,955 в 2013–2014 гг. до –0,991 и –0,992 в 2022–2023 гг., что также указывает на приближение системы авиаузлов к их распределению по пассажирообороту в соответствии с правилом «ранг – размер».

Это говорит об усилении процессов децентрализации авиасети. Но если с 2013 по 2019 г. значение k МАУ изменялось медленно – с 2,8 до 2,35 (рис. 1), то в 2020–2021 гг. произошло падение до 1,83 и 1,72 соответственно. Последнее можно объяснить снижением роли Москвы как международного авиахаба в период пандемии COVID-19 по причине закрытия ряда зарубежных направлений, а также вводом ограничений на внутренние перелеты.

Наличие связи между уменьшением роли Москвы как международного авиахаба и снижением значения k подтверждает и статистика 2022–2023 гг., когда по геополитическим причинам существенно изменилась структура международных авиасообщений и сократился объем перевозок. Коэффициент первенства МАУ составил 1,48 в 2022 г. и 1,33 в 2023 г. При этом пассажирооборот Москвы в 2023 г. (72,4 млн чел.) превысил значение 2022 г. (67,3 млн), однако не восстановился до уровня 2021 г. (74,3 млн) – здесь следует также учитывать приостановку обслуживания гражданских авиaperевозок в 11 аэропортах Юга и Черноземья с февраля 2022 г.

В 2013–2016 гг. пассажирооборот МАУ оставался примерно на одном уровне, сопоставимом с периодом после пандемии, но в 2017–2019 гг. зна-

чительно вырос (с 76,1 млн в 2016 г. до 103,0 млн в 2019 г.), что во многом вызвано именно ростом международного пассажирооборота: увеличился туристский поток как в Россию (в особенности из Китая), так и из России (преимущественно в Турцию), был открыт новый международный терминал в Шереметьево, произошло расширение маршрутной сети на зарубежных рейсах.

Однако коэффициент первенства МАУ в 2017–2019 гг. продолжал уменьшаться (он принимал значения 2,43; 2,36; 2,35 соответственно), и это связано с увеличением роли региональных авиаузлов. Весь рассматриваемый в исследовании период доля прироста общего пассажирооборота региональных аэропортов ежегодно была выше, чем у Москвы, равно как и падения – ниже. В 2019 г. прирост составил 66,3 процентных пункта (п. п.) к уровню 2013 г., а в 2021 г. уже 82,3 п. п., в 2023 г. – 92,7 п. п.

На 2023 г. доля региональных аэропортов в общем пассажирообороте выборки составила 60,4%, даже несмотря на исключение аэропортов Симферополя, Краснодара, Ростова-на-Дону и Анапы. Наибольший вклад в рост пассажирооборота обеспечили первые 10 авиаузлов после Москвы. Из графиков видно, что изменения происходили преимущественно за счет выравнивания верхнего сегмента иерархии (см. рис. 1). При этом второй узел – Санкт-Петербург – не оказывал на рост общего пассажирооборота региональных аэропортов решающего влияния ни до 2020 г., ни после.

Доля Санкт-Петербурга в суммарном пассажирообороте следующих за ним в иерархии 9 аэропортов снизилась с 35,2% в 2013 г. (12,8 млн чел.) до 26,4% в 2023 г. (20,3 млн чел.). Сказывается транспортно-географическое положение (ТПП) Санкт-Петербурга, не очень выгодное для обслуживания транзитных перелетов по России и ограничивающее также возможности международных авиaperевозок в новых геополитических условиях (в отличие от Сочи, доля которого стала особенно велика в 2021 г. – более 11 млн или 16,1%).

В 2013–2019 гг. рост пассажирооборота региональных аэропортов был больше связан с реализацией государственных программ, в 2020–2021 гг. – с увеличением спроса на отдых внутри России в условиях закрытых границ: четыре аэропорта (Сочи, Симферополь, Краснодар, Минеральные Воды) расположены вблизи курортных зон, а два (Калининград, Казань) в регионах, реализующих программы по развитию внутреннего туризма. В иных случаях немаловажную роль сыграло ТПП, благоприятствующее транзитным перевозкам по стране (Новосибирск, Екатеринбург, Уфа, Красноярск) – эти аэропорты фактически восстановили допандемийный пассажирооборот.

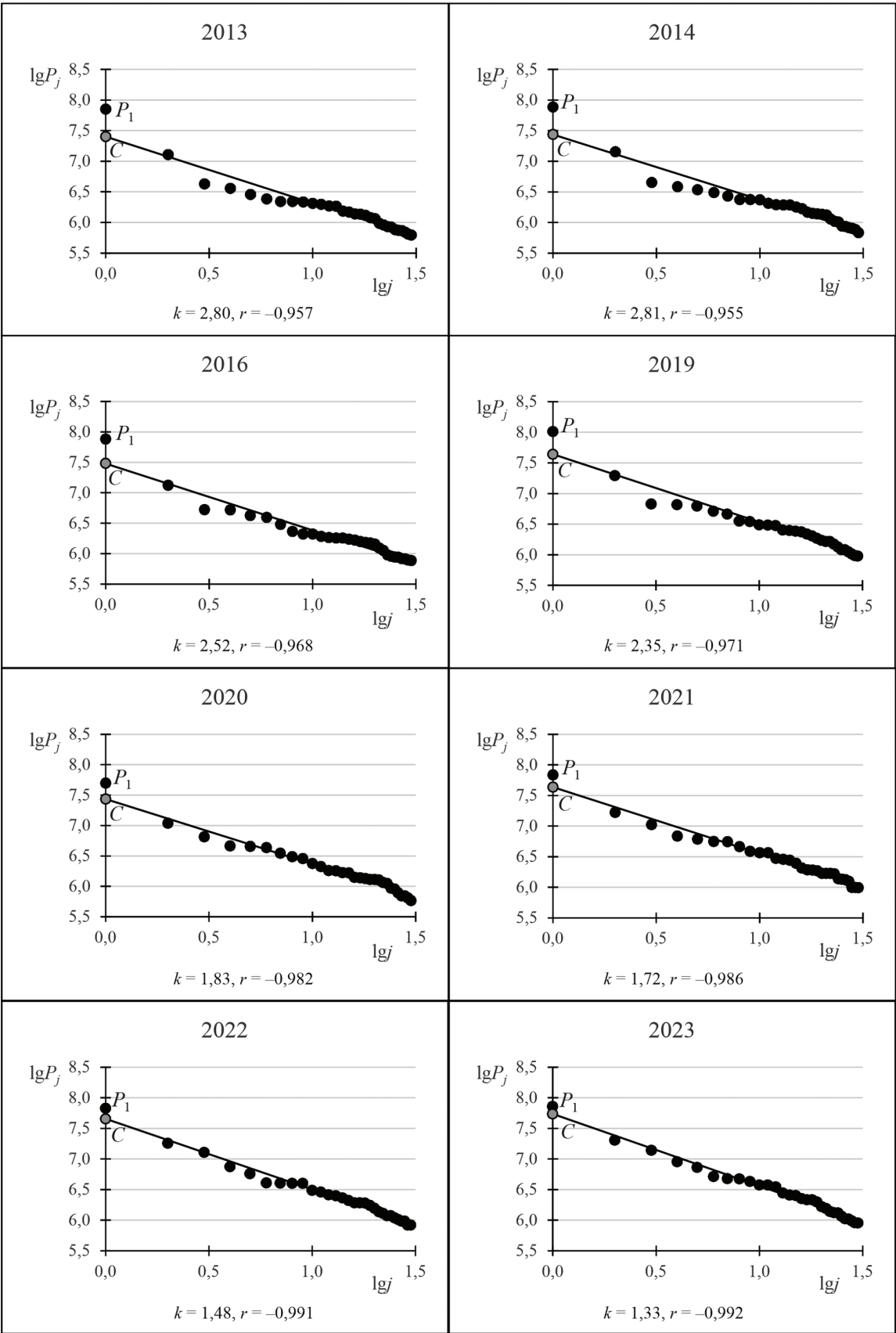


Рис. 1. Распределение крупнейших аэропортов России по пассажирообороту и теоретический пассажирооборот (C) МАУ (P_1) в 2013–2023 гг. *Источник:* составлено авторами

Fig. 1. Passenger turnover of the largest airports of Russia and a theoretical passenger turnover (C) of the MAH (P_1) in 2013–2023. *Source:* compiled by the authors

В 2022–2023 гг., в условиях новых ограничений, наблюдается перераспределение пассажиров также в пользу авиаузлов, обслуживающих регионы, привлекательные для туристов, или удобных для пересадки на прямые международные авиарейсы, как правило, в страны Азии – т. е. обладающих выгодным с этой точки зрения ТГП. На южном направлении отмечен значительный рост пассажирооборота аэропортов Сочи (почти на 3 млн чел.) и Минеральных Вод (на 1,5 млн). На восточном направлении выделяются аэропорты Новосибирска (рост на 2,2 млн чел.), Екатеринбурга (на 1,3 млн), Иркутска (на 1,7 млн), Казани (на 1,3 млн) и Красноярска (на 1,1 млн).

Распределение авиаузлов по рангам указывает на достаточно устойчивое место каждого узла

в иерархии и связь не только с численностью населения обслуживаемой территории, но также с ее специализацией и ТГП (рис. 2). Большинство аэропортов, представленных в иерархии хотя бы единожды, обслуживают крупнейшие города или туристско-рекреационные районы, либо находятся на отдаленной периферии, где воздушный транспорт более удобен для сообщения или безальтернативен. ТГП имеет определяющее значение для места в иерархии, когда оно важно для внешних связей: это видно на примере Владивостока и Хабаровска, которые опустились в иерархии в 2020–2021 гг. в связи с закрытием восточноазиатских направлений и лишь частично восстановились в 2022–2023 гг. с частичным же восстановлением международных перевозок.



Рис. 2. Картограмма иерархии авиаузлов России в 2013–2023 гг. *Источник:* составлено авторами

Fig. 2. Schematic map of the hierarchy of aviation hubs in Russia in 2013–2023. *Source:* compiled by the authors

Данные советского периода подтверждают полученные результаты. В 1960–1981 гг. коэффициент первенства МАУ в системе аэропортов СССР принимал значения от минимального 1,49 в 1961 г. до максимального 1,88 в 1979 г. За исключением периода после 1975 г., когда k стал возрастать, все предыдущие годы его значение изменялось минимально, оставаясь в среднем равным 1,6, т. е. МАУ только в полтора раза превышал свой теоретический размер на протяжении почти всего рассматриваемого отрезка времени. Из графиков (рис. 3) видно, что в советский период, несмотря на опережающий рост

Москвы, отмечался максимальный рост наиболее крупных аэропортов (Ленинград, Ташкент, Киев, Новосибирск, Свердловск, Красноярск, Минеральные Воды, Хабаровск, Сочи), а второй по величине узел никогда не отделялся значительно от всей группы.

До 1975 г. наблюдалось трехкратное превышение первого авиаузла системы над вторым, а с 1975 г. – четырехкратное. Примечательно, что в 1960–1962, 1964, а затем в 1978, 1979 и 1981 гг. вторым по количеству отправок пассажиров аэропортом в Советском Союзе выступал Ташкент, а не Ленинград. Вероятно, это связано с тем, что Ташкент

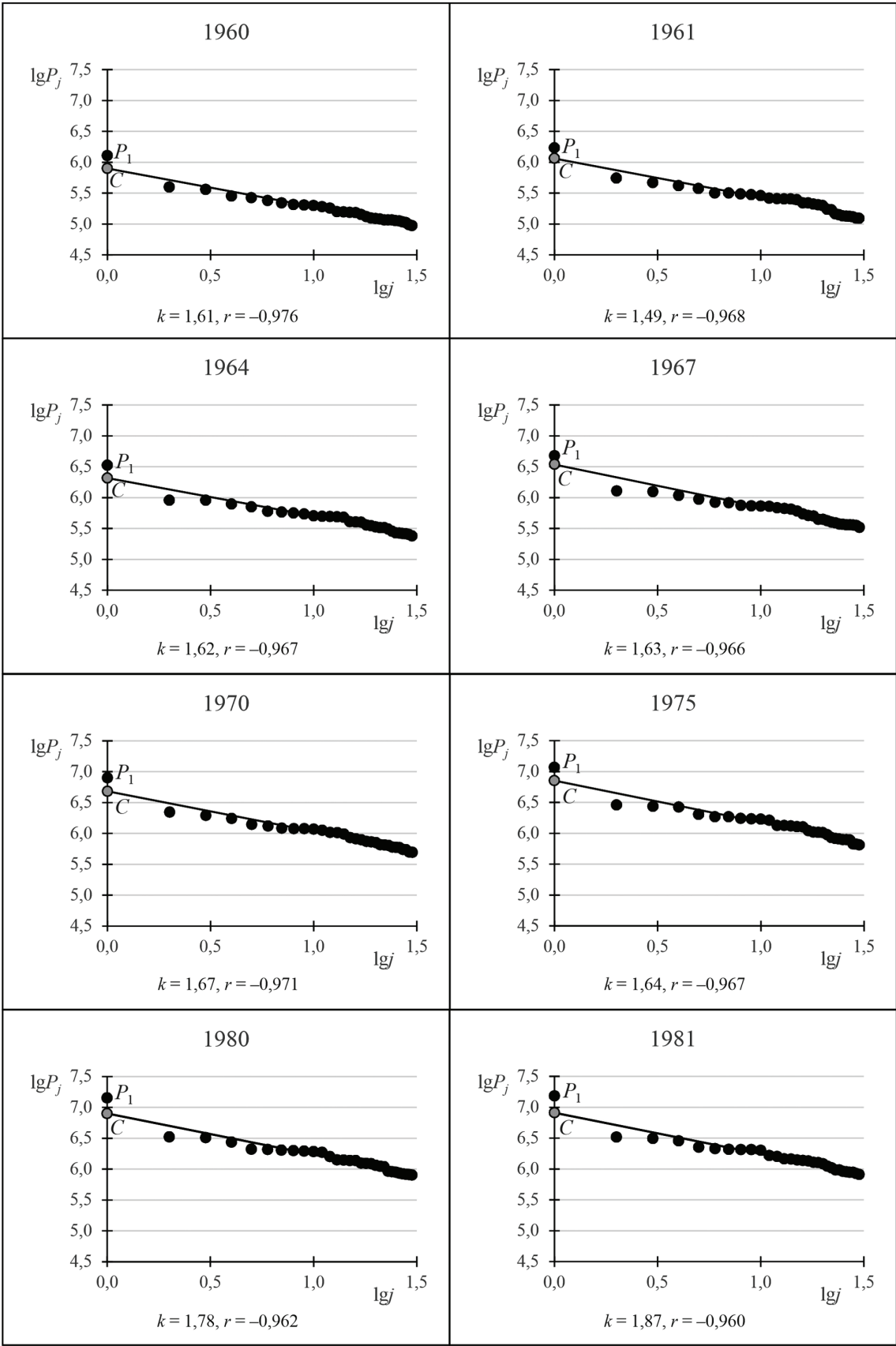


Рис. 3. Распределение крупнейших аэропортов СССР по отправлениям пассажиров и теоретический объем отправок (C) МАУ (P_j) в 1960–1981 гг. *Источник:* составлено авторами

Fig. 3. Passenger departures from the largest airports of the USSR and a theoretical passenger departure (C) from the MAU (P_j) in 1960–1981. *Source:* compiled by the authors

в СССР обладал более выгодным ТПП для развития внутренних транзитных перевозок, а Средняя Азия сохраняла часть населения, эвакуированного туда в военные годы – Ленинград же продолжал послевоенное восстановление. При этом вплоть до 1978 г. не отмечалось абсолютного превосходства в объеме отправок у какого-либо из двух аэропортов, а с 1967 г. и у аэропорта Киева, который в 1968–1975 гг. занимал третье место по числу отправок пассажиров и, подобно Ташкенту, развивался как транзитный узел, обладая выгодным ТПП.

Коэффициент корреляции r для советского времени варьировал от $-0,976$ до $-0,959$ – это отличает систему авиаузлов СССР рассматриваемого периода от системы авиаузлов России, где коэффициент корреляции постепенно приближается к -1 . Таким образом, система авиаузлов СССР предстает в более устойчивом состоянии и сопоставима по этому параметру с системой авиаузлов России 2013–2019 гг. Тем не менее значения k в 1960–1981 гг. более близки к величинам в 2020–2022 гг. (1,83; 1,72; 1,48 соответственно), что указывает на различия в структуре иерархической организации систем в целом: для СССР характерна некоторая полицентричность как на нижних, так и на верхних уровнях иерархии, чего в России не наблюдается. Об этом говорит и различие в значениях a , находящихся в диапазоне от $-0,668$ до $-0,608$ для СССР, а для Рос-

сии от $-1,177$ до $-1,064$. Следовательно, распределение авиаузлов СССР в иерархии более равномерное. За счет того, что разрыв в количестве отправок пассажиров между узлами соседних рангов иногда составлял всего несколько тысяч, такие аэропорты можно условно объединять в группы по 2–5 узлов как одноранговые.

Сравнение географического распределения узлов и их мест в иерархии в советский период (рис. 4) позволило сделать те же выводы, что и для периода 2013–2023 гг.: ранг авиаузла определяют численность населения территории, обслуживаемой аэропортом, ее специализация (туристско-рекреационный район, район нового освоения) и ТГП. Изменение места аэропорта в иерархии, его появление в выборке или исчезновение из нее отражает изменение ТГП и специализации территории: некоторые аэропорты восточной части страны развивались в периоды осуществления масштабных мероприятий. В частности, можно трактовать появление в выборке Караганды в 1962–1964 гг. как результат освоения Целины; Тюмени (с 1972 г.) как базового аэропорта для освоения нефтегазоносных районов Западной Сибири, повышение ранга Хабаровска в 1970-е гг. – как базы строительства Байкало-Амурской железнодорожной магистрали и развития дальневосточного региона в целом.



Рис. 4. Картограмма иерархии авиаузлов СССР в 1960–1981 гг. *Источник:* составлено авторами

Fig. 4. Schematic map of the hierarchy of aviation hubs in the USSR in 1960–1981. *Source*: compiled by the authors

Следует отметить, что на 1960–1970-е гг. пришелся экстенсивный рост всей авиасети СССР и РСФСР [Сорокин, 2022], а Москва с 1970 г. (год открытия транзитных рейсов иностранных авиакомпаний через территорию СССР с промежуточной посадкой в столице) и особенно в 1980 г. (в связи с проведением летних Олимпийских игр 1980 г.) увеличивала количество внешних связей. В современной России в рассматриваемый период происходило ослабление внешних связей при интенсивном росте внутренних. Сходство значений k в советское время и в России после 2019 г. позволяет предположить, что ослабление внешних связей главного узла способствует укреплению связей между региональными узлами и ускоряет движение всей системы к равновесному состоянию.

Различие в значениях r и a в описанных выше условиях указывает на то, что система авиаузлов Советского Союза к началу 1980-х гг. стала менее целостной и более неоднородной, чем в предыдущие годы или чем система авиаузлов России в 2020–2022 гг., поскольку уровень централизации авиасообщений высок в обоих случаях, но в СССР 1960–1981 гг. ниже, чем в России 2013–2019 гг. Вероятно, система авиаузлов СССР во второй половине 1970-х гг. начала выходить из состояния равновесия⁵, а система авиаузлов России в 2020 г., наоборот, начала приближаться к нему.

По всей видимости, равновесие системы авиаузлов как системы географических объектов определяется объемом внешних связей главного узла и степенью децентрализации сети, т. е. наличием разгружающих главный узел аэропортов в регионах. А это значит, что чем более закрыта система авиаузлов, тем более она полицентрична – должно быть верно и обратное. Примеры некоторых полицентричных стран дают возможность высказать гипотезу, что открытость авиатранспортных систем необязательно определяется государственными границами, и системы могут охватывать несколько стран или регионов, благодаря такой особенности территориальной конфигурации сетей воздушного транспорта, как узловая форма организации.

ВЫВОДЫ

Для системы авиаузлов России в 2013–2023 гг. присуща частичная децентрализация, выразившаяся в ослаблении Московского авиационного узла и преобладающем (особенно с 2020 г.) росте крупнейших региональных аэропортов, за исключением второго по рангу аэропорта Санкт-Петербурга – его рост ограничен окраинным ТГП. Снижение

роли МАУ в международных перевозках ведет к уменьшению его значения и как внутрироссийского хаба, причем не только по причине проведения соответствующей государственной политики. Ключевыми факторами роста пассажирооборота региональных аэропортов, определяющими их ранг в иерархии, становятся туристско-рекреационный потенциал территории обслуживания и ТГП узла, которые оказываются важными и для осуществления внешних корреспонденций напрямую – без транзита через Москву.

Система авиаузлов СССР в 1960–1981 гг. имеет признаки полицентричности, ее можно охарактеризовать как относительно устойчивую и равновесную. Несмотря на то что по количеству отправок пассажиров МАУ превышает второй узел системы в 3–4 раза, его фактический размер больше теоретического (согласно правилу «ранг – размер») только в полтора (среднее значение $k = 1,6$) – региональные аэропорты увеличивают количество отправок пассажиров быстрее Москвы. Полицентричность отражается и на структуре иерархии авиаузлов: аэропорты Ленинграда, Ташкента и Киева, делящие 2–4-е места, сопоставимы между собой по объему отправок пассажиров; то же можно сказать и об аэропортах, стоящих ниже в иерархии, – она принимает ступенчатый вид, где на одном уровне находится сразу несколько узлов. Данное обстоятельство приводит к заключению, что иерархия системы авиаузлов СССР в 1960–1981 гг. больше соответствует не правилу «ранг – размер», а другому, например, описываемому теорией центральных мест. Однако факторы, которые влияют на устойчивость узла в иерархии, отмечаются те же, что и для России 2013–2023 гг.

Значение k МАУ в 2020–2023 гг. близко к его значениям в 1960–1981 гг., когда авиатранспортная система СССР была в значительной степени изолирована от мировой. В период повышения открытости наибольший рост наблюдался у Москвы, остальные узлы росли медленнее, однако, как и в России с 2014 г., в первую очередь наиболее крупные. Чем больше был пассажирооборот авиаузлов, тем прочнее было их место в иерархии авиаузлов. Таким образом, зависимость между рангом авиаузла и его размером (объемом обслуженных пассажиров) увеличивается по мере того, как авиатранспортная система России становится более обособленной и одновременно более равновесной. Согласно правилу «ранг – размер», МАУ все больше соответствует системе авиаузлов, которую он обслуживает, поэтому формирование региональных авиахабов на базе крупнейших аэропортов согласуется с направлением развития авиатранспортной системы России. Наиболее устойчивые в

⁵Это можно трактовать и как нарастание общих дезинтеграционных процессов в государстве.

иерархии на текущий момент и тем самым наиболее подходящие для организации на их базе регио-

нальных хабов – аэропорты Екатеринбурга, Новосибирска и Сочи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гусейн-Заде С.М. Модели размещения населения и населенных пунктов. М.: Изд-во МГУ, 1988. 92 с.
- Медведков Ю.В. О размерах городов, объединенных в систему // Количественные методы исследования в экономической географии (Сборник докладов на семинаре). М.: ВИНТИ; Мос. филиал ВГО, 1964. С. 90–122.
- Искалиев Д.Ж. Городское расселение Казахстана: тенденции и факторы // Наука. Инновации. Технологии. 2017. № 2. С. 131–146.
- Коломак Е.А. Городская система современной России. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2018. 144 с.
- Растворцева С.Н., Манаева И.В. Оценка временного роста городов России // Региональная экономика: теория и практика. 2019. Т. 17. № 3(462). С. 402–417. DOI: 10.24891/re.17.3.402.
- Ростислав К.А., Салимова Д.Р., Пономарев Ю.Ю. Детерминанты межрегиональных авиаперевозок в России // Прикладная эконометрика. 2023. № 4. С. 39–58. DOI: 10.22394/1993-7601-2023-72-38-57.
- Самбуров К.В. Географическое распределение пассажирских железнодорожных узлов России // Региональные исследования. 2020. № 2(68). С. 121–130. DOI: 10.5922/1994-5280-2020-2-10.
- Семенов А.А. Авиахаб // Социально-экономическая география: понятия и термины: словарь-справочник / отв. ред. А.П. Горкин. Смоленск: Ойкумена, 2013. С. 12.
- Сорокин О.В., Самбуров К.В. Зоны тяготения пассажирских перевозок Москвы и Санкт-Петербурга // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 6. С. 135–147.
- Сорокин О.В. Трансформация территориальной структуры внутренних пассажирских авиаперевозок в России (1960–1970-е и 2010-е годы) // Региональные исследования. 2022. № 2(76). С. 53–66. DOI: 10.5922/1994-5280-2022-2-5.
- Сорокин О.В., Волошок А.С. Оценка условий и факторов формирования региональных авиахабов в Екатеринбурге, Тюмени, Новосибирске и Красноярске // Известия РАН. Серия географическая. 2023. № 3(87). С. 100–111. DOI: 0.31857/S258755662303010X.
- Тархов С.А. Изменение связности пространства России (на примере авиапассажирского сообщения). М.; Смоленск: Ойкумена, 2015. 154 с.
- Шульгина О.В., Головкин Г.Г. Изменение объемов авиаперевозок и специализации сегментов Московского авиационного узла с 2014 по 2021 год // Теоретическая и прикладная экономика. 2022. № 3. С. 34–54. DOI: 10.25136/2409-8647.2022.3.38427.
- Auerbach F. Das Gesetz der Bevölkerungskonzentration, *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 1913, bd. 59, s. 74–76.
- Borenstein S. Hubs and high fares: dominance and market power in the US airline industry, *The RAND Journal of Economics*, 1989, vol. 20, no. 3, p. 344–365, DOI: 10.2307/2555575.
- Halás M., Kraft S., Klapka P. Global spatial organization of air transport: The definition of functional airline regions, *The Geographical Journal*, 2020, vol. 186, iss. 1, p. 2–15, DOI: 10.1111/geoj.12313.
- Hansen M. Airline competition in a hub-dominated environment: An application of noncooperative game theory, *Transportation Research, pt B, Methodological*, 1990, vol. 24, no. 1, p. 27–43, DOI: 10.1016/0191-2615(90)90030-3.
- Rodrigue J.-P. *The Geography of Transport Systems*, New York, Routledge, 2020, 456 p.
- Shaw S.L. Hub structures of major US passenger airlines, *Journal of Transport Geography*, 1993, vol. 1, no. 1, p. 47–58, DOI: 10.1016/0966-6923(93)90037-Z.
- Zipf G.K. *Human behavior and the principle of least effort*, Cambridge, Massachusetts, Addison-Wesley Press, 1949, 573 p.

Поступила в редакцию 11.07.2023

После доработки 15.10.2024

Принята к публикации 21.01.2025

CHANGING THE STRUCTURE OF THE HIERARCHY OF RUSSIAN AIR HUBS IN 1960–2023

D.V. Kokorin¹, O.V. Sorokin²

^{1,2} *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia*

¹ *Project Manager, Infrastructure Development Department; e-mail: dvkokorin@mail.ru*

² *Graduate student; e-mail: sorokin.oleg.98@mail.ru*

High level of centralization of passenger transportation in the Moscow Aviation Hub is typical for Russia. It concentrates transit flows between regional airports. Unloading of the Russia's main air hub is possible through the development of regional air hubs. The hypertrophy of the Moscow Aviation Hub is also due to the collapse of a unified aviation network of the USSR, the rudiment of which is the aviation network of the Russian Federation. Disconnection meant that the air hub system have lost the state of balance, i.e. the capability of a system to maintain its parameters through self-regulation. Now there is a restoration of balance within new state borders. It is advisable to develop air hubs based on the largest airports, which, by their stable position in the hierarchy of air hubs, ensure the balance of the entire system.

The balance in the system of air hubs is described by the “rank–size” rule. To check the compliance of a hypertrophied system of air hubs in Russia with the rule the Yu.V. Medvedkov mathematical model is used. It makes it possible to estimate the proportionality of the Moscow Aviation Hub to the entire system (primacy coefficient), measure of contrasts between air hubs and determine the degree of deviation from their distribution in accordance with the “rank–size” rule. According to the methodology applied the rule was tested for the first time using the example of the largest airports hierarchy. The study is based on the data on passenger turnover of 30 largest airports of Russia for each year from 2013 to 2023 and on passenger departures from 30 largest airports of the USSR for each year from 1960 to 1981.

The analysis shows that in 2013–2023 the Russian air hub system is close to the distribution in accordance with the “rank–size” rule – there is a tendency towards decreasing primacy coefficient of the Moscow Aviation Hub and decentralization. The changes occur mainly due to the growth of passenger turnover of the hubs in the upper segment of the hierarchy. The key factors of air hubs stability in the hierarchy are the territorial specialization and the transport and geographical position. In 1960–1981 the air hub system of the USSR was more polycentric and less contrasting. The similarity of the primacy coefficient values for the Moscow Aviation Hub in 2020–2023 and in the Soviet period, as well as a comparison of trends in the development of air hub systems suggest that the weakening of Moscow's external ties contributed to the strengthening of ties between the next air hubs in the hierarchy. Thus, the formation of regional air hubs based on the largest airports in Russia aligns with the trends in the air transport system development.

Keywords: airport hierarchy, Moscow Aviation Hub, “rank–size” rule, USSR

REFERENCES

- Auerbach F. Das Gesetz der Bevölkerungskonzentration [The law of population concentration], Petermanns, *Geographische Mitteilungen*, 1913, no. 59, p. 74–76. (In Deutsch)
- Borenstein S. Hubs and high fares: dominance and market power in the US airline industry, *The RAND Journal of Economics*, 1989, vol. 20, no. 3, p. 344–365, DOI: 10.2307/2555575.
- Gusein-Zade S.M. *Modeli razmeshcheniya naseleniya i naseleennykh punktov* [Population and locality placement models], Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1988, 92 p. (In Russian)
- Halás M., Kraft S., Klapka P. Global spatial organisation of air transport: The definition of functional airline regions, *The Geographical Journal*, 2020, vol. 186, iss. 1, p. 2–15, DOI: 10.1111/geoj.12313.
- Iskaliev D.Zh. Gorodskoe rasselenie Kazakhstana: tendencii i faktory [Urban population of Kazakhstan: trends and factors], *Nauka. Innovacii. Tekhnologii*, 2017, no. 2, p. 131–146. (In Russian)
- Kolomak E.A. *Gorodskaya sistema sovremennoj Rossii* [The urban system of modern Russia], Novosibirsk, IEIE SB RAS Publ., 2018, 144 p. (In Russian)
- Medvedkov Yu.V. [On the size of cities united in a system], *Kolichestvennye metody issledovaniya v ekonomicheskoi geografii* [Quantitative methods of studies in economic geography], Moscow, All-Union Institute for Scientific and Technical Information, The Moscow Branch of the Geographical Society of the USSR, 1964, p. 90–122. (In Russian)
- Rastvortseva S.N., Manaeva I.V. Otsenka vremennogo rosta gorodov Rossii [Estimation of temporal growth rate of Russian cities], *Regional Economics: Theory and Practice*, 2019, vol. 17, no. 3, p. 402–417, DOI: 10.24891/re.17.3.402. (In Russian)
- Rodrigue J.-P. *The Geography of Transport Systems*, New York, Routledge, 2020, 456 p.
- Rostislav K.A., Salimova D.R., Ponomarev Y.Y. Determinanty mezhhregional'nykh aviaperevozok v Rossii [Determinants of interregional air transportation in Russia], *Prikladnaya ekonometrika*, 2023, no. 4, p. 39–58, DOI: 10.22394/1993-7601-2023-72-38-57. (In Russian)
- Samburov K.V. Geograficheskoe raspredelenie passazhirskikh zheleznodorozhnykh uzlov Rossii [The geographical distribution of passenger railway hubs in Russia],

- Regional'nye issledovaniya*, 2020, no. 2(68), p. 121–130, DOI: 10.5922/1994-5280-2020-2-10. (In Russian)
- Semyonov A.A. [Air Hub], *Social'no-ekonomicheskaya geografiya: ponyatiya i terminy* [Social and Economic Geography: notions and terms], Slovar'-spravochnik, A.P. Gorokin (ed.), Smolensk, Ojkumena, 2013, p. 12. (In Russian)
- Shul'gina O.V., Golovko G.G. Izmenenie ob'emov aviaperevozok i spetsializatsii segmentov Moskovskogo aviatsionnogo uzla s 2014 po 2021 god [Changes in the volume of air traffic and specialization of segments of the Moscow Aviation Hub from 2014 to 2021], *Theoretical and Applied Economics*, 2022, no. 3, p. 34–54, DOI: 10.25136/2409-8647.2022.3.38427. (In Russian)
- Sorokin O.V. Transformatsiya territorial'noi struktury vnutrennikh passazhirskikh aviaperevozok v Rossii (1960–1970-e i 2010-e gody) [Transformation of territorial structure of domestic passenger air service in Russia in 1960s–70s and 2010s], *Regional'nye issledovaniya*, 2022, no. 2(76), p. 53–66, DOI: 10.5922/1994-5280-2022-2-5. (In Russian)
- Sorokin O.V., Samburov K.V. Zony tyagoteniya passazhirskikh perevozok Moskvy i Sankt-Peterburga [Attraction zones of passenger traffic to Moscow and St. Petersburg], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2021, no. 6, p. 135–147. (In Russian)
- Sorokin O.V., Voloshok A.S. Otsenka uslovii i faktorov formirovaniya regional'nykh aviakhabov v Ekaterinburge, Tyumeni, Novosibirsk i Krasnoyarske [Evaluation of Conditions and Factors for the Formation of Regional Air Hubs in Yekaterinburg, Tyumen, Novosibirsk and Krasnoyarsk], *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk, Ser. Geograficheskaya*, 2023, no. 3(87), p. 100–111, DOI: 0.31857/S258755662303010X. (In Russian)
- Tarkhov S.A. *Izmenenie svyaznosti prostranstva Rossii (na primere aviapassazhirskogo soobshcheniya)* [Changes in air transport connectivity of Russian cities in 1990–2015], Moscow, Smolensk, Oecumene, 2015, 154 p. (In Russian)
- Zipf G.K. *Human behavior and the principle of least effort*, Cambridge, Massachusetts, Addison-Wesley Press, 1949, 573 p.

Received 11.07.2023

Revised 15.10.2024

Accepted 21.01.2025