

Для цитирования: Акаев А. А., Давыдова О. И., Малков А. С., Шульгин С. Г. Моделирование перспективных торгово-транспортных коридоров в рамках проекта «Один пояс — один путь» // Экономика региона. — 2019. — Т. 15, вып. 4. — С. 981-995

<https://doi.org/10.17059/2019-4-2>
УДК 332.12; 332.14; 338.2

А. А. Акаев^{а)}, О. И. Давыдова^{б)}, А. С. Малков^{б)}, С. Г. Шульгин^{в)}

^{а)} Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (Москва, Российская Федерация; e-mail: askarakaev@mail.ru)

^{б)} ООО «Айдесайд Консалтинг» (Королев, Российская Федерация)

^{в)} Институт прикладных экономических исследований (Москва, Российская Федерация)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТОРГОВО-ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ В РАМКАХ ПРОЕКТА «ОДИН ПОЯС — ОДИН ПУТЬ»¹

В условиях стремительного роста торговли между Азией и Европой возрождается Великий шелковый путь, являвшийся одним из основных торговых маршрутов в прошлом. Новый шелковый путь может пройти через территорию нескольких десятков государств, способствуя их экономическому росту. Точный маршрут нового шелкового пути на данный момент не определен, имеется несколько альтернативных вариантов. В статье для оценки того, как изменятся трансевразийские транспортные потоки в случае реализации того или иного варианта маршрута китайского проекта «Один пояс — один путь» (с учетом модернизации российской железнодорожной сети), используется разработанная авторами математическая модель, основанная на уравнении теплопроводности, широко применяемом в физике. Данная пространственная модель позволяет на основе пространственного распределения спроса и предложения товаров моделировать и прогнозировать товаропотоки в конкретной географической области. В модели используются соотношения, связывающие характеристики товарных потоков и пространственное распределение цен на рассматриваемой территории. Приведены результаты расчетов для нескольких сценариев модернизации, включая инерционный сценарий, при котором сохраняется сложившаяся на настоящий момент схема транспортировки товаров, сценарий, предполагающий построение высокоскоростного Северного коридора Трансазиатской железнодорожной магистрали, включая высокоскоростной участок Москва — Казань — Екатеринбург — Казахстан — Урумчи, а также сценарий, в котором маршрут шелкового пути не проходит по территории Казахстана. Моделирование показывает, что наиболее благоприятным для реализации транзитных возможностей России и для ускорения ее экономического роста является сценарий создания высокоскоростной магистрали от Владивостока до западной границы страны. Результаты моделирования могут использоваться для оценки эффективности инфраструктурных проектов по модернизации российской транспортной сети.

Ключевые слова: товаропотоки, транспортные коридоры, пространственное моделирование, мировая торговля, высокоскоростные железнодорожные магистрали

Введение

В настоящее время в мире происходят кардинальные перемены. Центры экономического роста перемещаются с запада на восток. Соответственно, изменяется география глобальных торговых потоков. Ярким примером таких изменений является осуществляемый Китаем проект «Один пояс — один путь», о начале которого заявил в 2013 г. Си Цзиньпин, председатель Китайской Народной Республики. Проект направлен на создание современной транспортной инфраструктуры —

сети автомобильных и железных дорог, морских путей и трубопроводов, соединяющих КНР и страны Европы. Построенные пути позволяют интенсифицировать торговые потоки между различными точками мира, снизить издержки на транспортировку грузов. В Китае будет поставляться сырье, из Китая будут экспортироваться товары.

Последние десятилетия ознаменованы быстрым ростом торгового оборота между Китаем и Европой (рис. 1).

При этом торговля между Европой и Азией обслуживается в основном морским транспортом, из всего объема импорта Китая в Европу по суше доставляется лишь малая часть (рис. 2).

¹ © Акаев А. А., Давыдова О. И., Малков А. С., Шульгин С. Г. Текст. 2019.

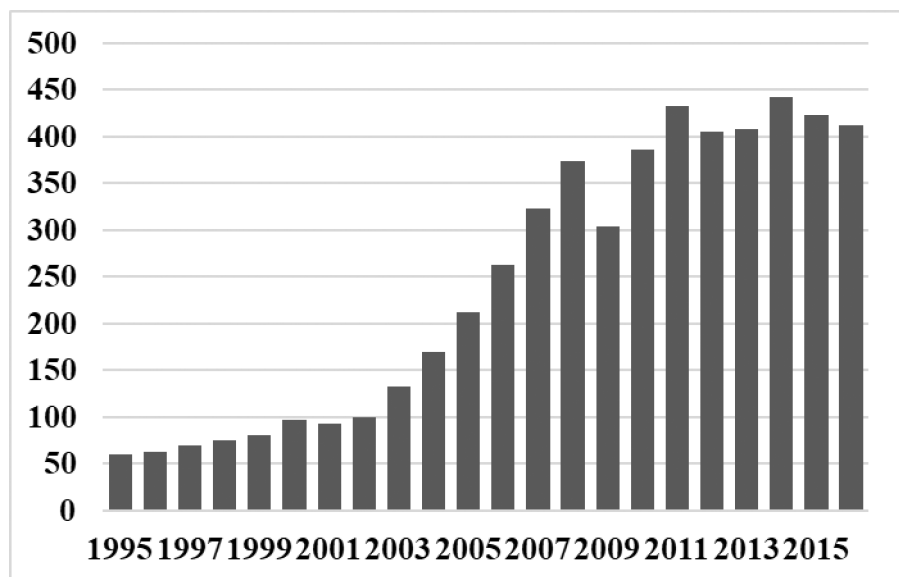


Рис. 1. Экспорт из Китая в Европу, млрд долл. США (источник: United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) [Электронный ресурс]. URL: <http://unctadstat.unctad.org/EN> (дата обращения: 15.10.2018))



Рис. 2. Оценки параметров морской и железнодорожной трансазиатской торговли

Несмотря на это, железнодорожный транспорт претендует на часть товарного потока, имея преимущества в скорости доставки. Объемы железнодорожных перевозок увеличиваются быстрыми темпами. Только за 2016 г. достигнут двукратный рост железнодорожных контейнерных перевозок в направлении КНР — ЕС — КНР с 47 тыс. TEU¹ в 2015 г. до 105 тыс. TEU в 2016 г., что почти в 100 раз превышает

показатель 2011 г.² В 2017 г. объем контейнерных перевозок транзитом через территорию Евразийского экономического союза составил 262 тыс. TEU³ (рис. 3).

¹ TEU (twenty-foot equivalent unit) — стандартный контейнер для перевозки товаров.

² Симонова Татьяна. Объем перевозок между КНР — ЕС — КНР по территории Казахстана увеличился в два раза [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/obem-perevozok-mezhdu-knr-es-knr-po-territorii-kazakhstana-uvlechilsya-v-dva-raza/> (дата обращения: 15.10.2018).

³ Плетнев Сергей. Объем транзитных контейнерных перевозок через Россию растет до 500 тыс. TEU [Электронный

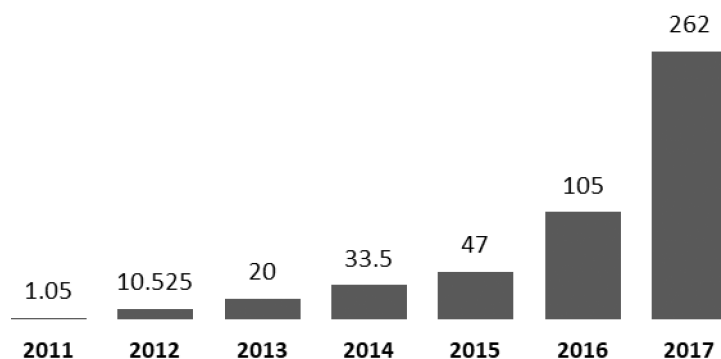


Рис. 3. Транзит контейнерных перевозок железнодорожным транспортом в направлении КНР — ЕС — КНР, тыс. TEU

К 2020 г. транзит может вырасти до 450–500 тыс. TEU, а число отправок увеличится в три раза и достигнет 100 поездов в неделю. Объединенная транспортно-логистическая компания (АО «ОТЛК») к 2025 г. намерена увеличить транзитные железнодорожные перевозки грузов между Китаем и Европой до 1 млн TEU в год¹.

На саммите «Один пояс — один путь», проходившем в мае 2017 г. в Пекине Си Цзиньпин сообщил, что готов инвестировать в создание Нового шелкового пути 124 млрд долл.² В настоящее время функционируют два института для финансирования проектов: Азиатский банк инфраструктурных инвестиций и Фонд Шелкового пути. Активы Азиатского банка инфраструктурных инвестиций составляют 100 млрд долл., Фонда Шелкового пути — 40 млрд долл.³

Для России крайне важно стать трансевразийским транспортным коридором «Нового шелкового пути», что потребует модернизации Байкало-Амурской и Транссибирской магистралей. Этап модернизации Байкало-Амурской магистрали и Транссиба, реализуемый с 2018 г. до 2025 г., оценивается в 500 млрд

ресурс]. URL: <http://www.gudok.ru/freighttrans/?ID=1410287> (дата обращения: 16.10.2018).

¹ Объединенная транспортно-логистическая компания — Евразийский железнодорожный альянс. Миллион контейнеров на Шелковом пути. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.utlc.com/news/million-konteynerov-na-shelkovom-puti/> (дата обращения: 17.10.2018).

² Brenda Goh, Yawen Chen. China pledges \$124 billion for new Silk Road as champion of globalization. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.reuters.com/article/us-china-silkroad-africa/china-pledges-124-billion-for-new-silk-road-as-champion-of-globalization-idUSKBN18A02I?il=0> (дата обращения: 17.10.2018).

³ Полина Химшиашвили, Павел Кошкин, Людмила Подобедова. Путин в Пекине. Как Россия встраивается в китайский Шелковый путь. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rbc.ru/politics/14/05/2017/59159e0d9a7947318586f81f> (дата обращения: 17.10.2018).

руб.⁴ В Указе Президента РФ от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» поставлена задача увеличить пропускную способность Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей в полтора раза, до 180 млн т, а объем транзитных железнодорожных перевозок — в 4 раза⁵.

Важнейшую роль играет развитие высокоскоростных железнодорожных магистралей. Высокоскоростная магистраль (ВСМ) Пекин — Москва — Европа может быть построена к 2035 г. ТЭО проекта разрабатывает РЖД совместно с «Китайскими железными дорогами». В России уже реализуется проект высокоскоростной магистрали Москва — Казань, которая, скорее всего, станет частью ВСМ Москва — Пекин стоимостью 7 трлн руб. и проекта «Один пояс — один путь»⁶.

Россия и Япония рассматривают возможность возведения моста между островами Сахалин и Хоккайдо. Эта железная дорога позволила бы России значительно увеличить объем транзита из Японии. По расчетам Минтранса, примерная стоимость работ по возведению моста через пролив Невельского, отделяющий Сахалин от материка, составит 400 млрд руб.⁷ Совокупная стоимость проекта

⁴ РЖД оценили второй этап проекта БАМ-Транссиб почти в 500 млрд руб. [Электронный ресурс]. URL: <http://tass.ru/transport/4662797> (дата обращения: 19.10.2018).

⁵ О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года. Указ Президента РФ от 07.05.2018 г. № 204.

⁶ Минтранс. Проект ВСМ Пекин — Москва — Европа будет реализован к 2035 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://tass.ru/ekonomika/4431364> (дата обращения: 19.10.2018).

⁷ Аракелян Е., Беляков Е., Адамович О. Мост с Сахалина на Хоккайдо обойдется в 50 млрд долларов. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kp.ru/daily/26728.4/3754385> (дата обращения: 19.10.2018).

должна составить 8 трлн руб., российская доля будет достигать 3,6 трлн руб.¹

Хотя существует много планов по развитию евразийской транспортной инфраструктуры, окончательный ее облик пока неясен, обсуждаются несколько вариантов транспортных коридоров в рамках «Нового шелкового пути». Для оценки перспектив их развития и для определения приоритетов в создании трансевразийской транспортной инфраструктуры необходимо провести математическое моделирование с целью сравнения возможных вариантов торговых маршрутов. В данной статье описана методология такого моделирования, изложена математическая модель, приведены некоторые результаты расчетов.

Теория

Глобальные торговые потоки формируются в результате экономического взаимодействия различных стран и регионов мира. Моделированию международной торговли посвящены работы [1–24] и др. В нашем исследовании для анализа и моделирования торговых потоков использовалась усовершенствованная модель [24]. В работе [24] оценивались роль и взаимное влияние демографических, экономических, технологических и пространственно-географических факторов на международную торговлю в доиндустриальную эпоху. Были введены новые пространственно-географические характеристики: транспортная проводимость и товаропроводность. Предложена модель вычисления транспортной проводимости для различных географических областей. Данная модель может применяться как для исторических, так и для современных данных с целью расчета времени транспортировки товаров по конкретному маршруту. Помимо интенсивности товаропотоков, предложенная методика позволяет оценить пространственное распределение цен, плотностей производства и потребления. Представленная в [24] модель дает возможность на основе имеющегося пространственного распределения производства и потребления анализировать товаропотоки в конкретной географической области. При этом расположение товаропотоков в пространстве вычисляется с учетом различий географических областей. Задача может быть сформулирована так: имеется географиче-

ская область U , у которой определена кусочно-гладкая граница; для всех точек $(x, y) \in U$ заданы: $p(x, y, t)$ — стоимость товара; $w(x, y, t)$ — плотность товаропотока; $q(x, y, t)$ — плотность разности величины производства и потребления товара; $T(x, y, t)$ — плотность товара; $\{K_i(x, y)\}$ — параметры территории, оказывающие влияние на перевозку товара; $w_{\partial U}(x, y, t)$ — товарный поток, определенный на границе области ∂U , где x и y — координаты границы: $(x, y) \in \partial U$. Необходимо рассчитать значения $T(x, y, t)$, $w(x, y, t)$, и величину $p(x, y, t)$, зная $q(x, y, t)$, $\{K_i(x, y)\}$ и $w_{\partial U}(x, y, t)$;

Аналогичную задачу решал М. Бекманн [22, 23]. В качестве главных параметров территории он выделял затраты на транспортировку и скорость перевозки товара в конкретной точке. М. Бекманн предложил уравнение для определения оптимальных потоков. В уравнении предполагается, что товаропоток следует в направлении градиента цены. При этом модуль градиента равен затратам на транспортировку.

$$k \frac{w}{|w|} = \text{grad } p \text{ всюду, где } w \neq 0. \quad (1)$$

В работе [24] в модель М. Бекманна были добавлены грубость и нестационарность. Грубость подразумевает небольшое изменение потоков при небольшом изменении стоимости перевозки. Нестационарность предполагает эволюцию во времени. Итоговое уравнение было записано следующим образом:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \zeta(\text{div}(k(x, y)) \text{grad } p) - q. \quad (2)$$

Данное уравнение подразумевает, что товаропоток пропорционален градиенту цены и следует в направлении градиента цены. В работе [24] приведены четкие обоснования данных предположений. Полученное уравнение не требует информации о стоимостях перевозки, и включает в себя коэффициент товаропроводности $k(x, y)$, который можно оценить.

В работе [24] выражение (2) использовалось для моделирования исторического Великого шелкового пути, на протяжении столетий связывавшего средневековую Европу и Китай. Коэффициент товаропроводности считался функцией от обложения торговцев пошлинами, вероятности разбойных нападений на торговые караваны, издержек на содержание транспортных средств, их грузоподъемности и мощности, особенностей ландшафта, энергозатрат на движение. Моделирование проводилось с использованием конечно-разностных

¹ Россия и Япония обсуждают строительство моста между Сахалином и Хоккайдо [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3403200> (дата обращения: 19.10.2018).

методов на пространственной сетке, построенной с учетом формы Земли.

В результате моделирования были определены наиболее вероятные маршруты транспортировки товаров для разных исторических эпох при условии, что источник товара находился в Китае, а сток — в Европе. Оказалось, что важное значение для формирования маршрутов и их стабильного функционирования имеют геополитические факторы: в эпохи расцвета крупных империй условия торговли (включая безопасность перевозок) улучшались, что приводило к повышению коэффициента товаропроводности и увеличению товаропотоков. Сопоставление исторических маршрутов и маршрутов, рассчитанных по модели, показало их хорошее соответствие.

Для моделирования современного «Нового шелкового пути» данная модель была модифицирована, о чем будет сказано далее.

Данные и методы

Для реализации изложенного выше подхода к пространственному моделированию торговых потоков необходимо задание пространственного распределения источников и стоков товаров, то есть пространственного расположения производителей и потребителей товарной продукции (экспортеров и импортеров), а также прогнозируемых объемов экспорта и импорта. Прогноз и визуализация мировых торговых взаимодействий между странами до 2025 г. делались на основе макромоделей, описанных в [25]. Основой для моделирования служили статистические данные (текущая торговая статистика UN COMTRADE, демографический прогноз ООН, макроэкономические данные WorldBank), гравитационная модель Я. Тинбергена, модели долгосрочного экономического роста Барро и Сала-и-Мартина, Мэнкью, Ромера и Вэйла, Эванса. Согласно инерционному сценарию (темпы роста экономик стран мира сохраняются на существующем в настоящее время уровне), к 2025 г. Китай станет безусловным лидером в мировой торговле и главным торговым партнером Германии — экономического лидера Европейского союза¹.

Для задания в модели пространственного распределения производства и потребления в 2025 г. было выбрано 30 крупнейших экономик мира. В качестве производителей рассматривались Китай, Южная Корея и Япония.

Остальные страны рассматривались в качестве импортеров произведенной в указанных странах продукции. Для определения объемов транспортных перевозок на основе рассчитанного инерционного прогноза на 2025 г. были сделаны оценки экспорта из Китая, Южной Кореи и Японии в наиболее крупные экономики мира. Экспорт представлен 10 товарными категориями:

- 1) текстиль и мебель;
- 2) овощи, продукты питания и дерево;
- 3) драгоценные камни и стеклянная продукция;
- 4) полезные ископаемые;
- 5) металлы;
- 6) химикаты и пластик;
- 7) транспортные средства;
- 8) машинное оборудование;
- 9) электроника;
- 10) другое.

Результаты прогноза по товарным группам и странам в долларах США 2015 г. представлены в таблице 1.

Данное пространственное распределение производства и потребления использовалось в качестве исходных данных для моделирования товаропотоков.

Модель

Моделирование перспективных торгово-транспортных коридоров проводилось на основе модели пространственных торговых потоков, описанной выше, и в работе [24]. Модель была усовершенствована с целью обеспечения возможности учета всей глобальной (а не только евразийской) сети товароперевозок, включая Северный морской путь и межконтинентальную торговлю. Схема торговых коридоров, учитываемых при моделировании, представлена на рисунке 4.

В модели глобальная транспортная сеть задается в виде графа $G = (V, E)$, где V — вершины графа, E — ребра графа. Вершинами графа V являются основные города, которые связаны железнодорожными путями (Астана, Варшава, Владивосток, Гамбург, Гонконг, Иркутск, Казань, Москва, Париж, Пекин, Петербург, Роттердам, Стамбул, Тегеран, Шанхай и т. д.), и города, находящиеся вдоль морских путей (Гаосюн, Джакарта, Джибути, Каир, Карачи, Манила, Марсель, Мумбаи, Пусан, Сингапур, Циндао и т. д.). Железнодорожные и морские маршруты, проходящие между городами (вершинами графа), представлены ребрами графа E . Для каждой вершины графа V_i задана величина q_i , являющаяся разницей между производством

¹ При сложившихся условиях резко возрастает роль России в качестве страны-транзитера, и, безусловно, нужно использовать появившиеся возможности.

Таблица 1

Прогноз экспорта из Китая (CHN), Южной Кореи (KOR) и Японии (JPN) в крупнейшие страны мира в 2025 г. по товарным группам, в долларах США по курсу 2015 г.

Exporter	Importer	Textiles and furniture	Vegetables, foodstuffs and wood	Stone and glass	Minerals	Metals	Chemicals and plastics	Transport vehicles	Machinery	Electronics	Other	total, \$
CHN	USA	1.27E+11	3.57E+10	1.43E+10	1.37E+09	3.53E+10	4.86E+10	1.92E+10	2.02E+11	1.78E+11	5.67E+09	6.67E+11
CHN	JPN	1.14E+11	5.65E+10	8.59E+09	7.02E+09	3.01E+10	4.46E+10	1.6E+10	1.24E+11	1.30E+11	1.13E+09	5.33E+11
CHN	DEU	7.66E+10	1.8E+10	6.32E+09	1.75E+09	1.78E+10	2.31E+10	1.11E+10	9.05E+10	6.3E+10	17692731	3.08E+11
CHN	GBR	1.76E+10	5.09E+09	1.74E+09	83915900	4.51E+09	5.35E+09	1.77E+09	1.79E+10	1.39E+10	2.89E+08	6.83E+10
CHN	FRA	1.75E+10	4.1E+09	1.3E+09	96523054	3.38E+09	4.72E+09	1.31E+09	1.96E+10	1.81E+10	33739471	7.02E+10
CHN	BRA	2.09E+10	6.6E+09	3.04E+09	9.49E+08	1.37E+10	2.29E+10	8.62E+09	3.56E+10	3.94E+10	6411561	1.52E+11
CHN	ITA	1.19E+10	3.3E+09	1.1E+09	1.1E+08	4.52E+09	4.43E+09	1.25E+09	1.18E+10	8.15E+09	74419746	4.66E+10
CHN	RUS	2.67E+10	1.1E+10	2.29E+09	4.28E+08	6.93E+09	7.42E+09	4.33E+09	1.78E+10	1.42E+10	305460	9.12E+10
CHN	IND	1.13E+10	3.32E+09	6.2E+09	2.49E+09	1.43E+10	3.4E+10	6.18E+09	3.12E+10	3.66E+10	3.05E+09	1.49E+11
CHN	CAN	1.71E+10	5.85E+09	2.22E+09	3.57E+08	7.86E+09	6.13E+09	3.19E+09	1.92E+10	1.59E+10	21275326	7.79E+10
CHN	AUS	6.83E+10	2.17E+10	8.11E+09	5.39E+09	2.87E+10	3.48E+10	1.4E+10	7.54E+10	5.49E+10	3288277	3.11E+11
CHN	KOR	1.04E+11	6.47E+10	2.62E+10	2.18E+10	1.32E+11	8.55E+10	1.97E+10	1.37E+11	3.29E+11	89780867	9.21E+11
CHN	ESP	5.41E+09	1.52E+09	4.11E+08	48583827	1.56E+09	1.97E+09	3.62E+08	4.19E+09	3.62E+09	14092207	1.91E+10
CHN	MEX	4.76E+09	1.41E+09	5.52E+08	1.52E+08	2.13E+09	3.14E+09	2.17E+09	1.11E+10	8.29E+09	542840.9	3.37E+10
CHN	TUR	3.84E+09	8.68E+08	7.13E+08	61008795	1.86E+09	2.6E+09	7.3E+08	6.11E+09	5.59E+09	19949324	2.24E+10
CHN	IDN	3.02E+10	1.25E+10	4.94E+09	9.55E+09	2.47E+10	2.4E+10	6.59E+09	3.8E+10	2.91E+10	4400797	1.79E+11
CHN	NLD	3.94E+09	1.44E+09	3.22E+08	1.11E+08	1.26E+09	2.14E+09	5.1E+08	1.25E+10	8.22E+09	1.82E+08	3.07E+10
CHN	SAU	6.28E+10	1.53E+10	1.38E+10	8.55E+08	3.41E+10	2.29E+10	1.34E+10	4.08E+10	2.73E+10	7963277	2.31E+11
CHN	CHE	3.83E+10	1.2E+10	6.06E+09	1.15E+09	9.73E+09	3.18E+10	3.33E+09	5.55E+10	4.83E+10	46404010	2.06E+11
CHN	SWE	7.27E+09	1.77E+09	5.35E+08	46082291	1.97E+09	1.48E+09	7.33E+08	4.7E+09	5.51E+09	8432502	2.4E+10
CHN	NGA	1.9E+09	5.1E+08	3.61E+08	52533139	9.93E+08	9.95E+08	6.96E+08	9.87E+08	1.27E+09	2634223	7.77E+09
CHN	POL	1.92E+09	4.28E+08	2.18E+08	32434118	6.82E+08	6.2E+08	3.17E+08	3E+09	2.01E+09	403408.2	9.23E+09
CHN	BEL	7.6E+09	2.26E+09	1.95E+09	1.1E+08	4.25E+09	4.7E+09	7.35E+08	5.5E+09	4.34E+09	2.64E+08	3.17E+10
CHN	ARG	2.48E+09	6.52E+08	3.15E+08	2.44E+08	1.2E+09	5.02E+09	3.12E+09	7.39E+09	8.23E+09	1755222	2.87E+10
CHN	NOR	2.71E+09	7.54E+08	2.7E+08	76948783	9.27E+08	5.92E+08	5.37E+08	1.44E+09	1.26E+09	1773978	8.58E+09
CHN	VEN	5.59E+08	1.39E+08	87091128	9244093	7.07E+08	4.41E+08	8.82E+08	1.86E+09	9.71E+08	0	5.66E+09
CHN	AUT	2.72E+09	8.37E+08	5.45E+08	1.46E+08	1.38E+09	1.14E+09	3.5E+08	3.16E+09	5.92E+09	15756365	1.62E+10
CHN	IRN	4.01E+09	1.68E+09	1.68E+09	4.95E+08	3.6E+09	2.81E+09	2.09E+09	4.82E+09	3.14E+09	458952	2.43E+10
CHN	THA	1.85E+10	1.68E+10	6.37E+09	2E+09	2.42E+10	2.44E+10	7E+09	3.93E+10	3.65E+10	5044498	1.75E+11
CHN	ARE	1.67E+10	3.14E+09	2.36E+09	8.21E+08	5.42E+09	3.96E+09	1.71E+09	1.15E+10	1.07E+10	150553.9	5.63E+10

Exporter	Importer	Textiles and furniture	Vegetables, foodstuffs and wood	Stone and glass	Minerals	Metals	Chemicals and plastics	Transport vehicles	Machinery	Electronics	Other	total, \$
KOR	USA	2.3E+09	1.87E+09	1.05E+09	4E+09	9.17E+09	7.94E+09	2.74E+10	1.71E+10	1.94E+10	1.26E+09	9.15E+10
KOR	CHN	6.57E+09	4.31E+09	2.15E+10	2.18E+10	2.17E+10	7.22E+10	1.5E+10	8.96E+10	1.65E+11	2.88E+08	4.18E+11
KOR	JPN	3.12E+09	7.2E+09	4.61E+09	2.07E+10	1.5E+10	1.34E+10	3.19E+09	1.21E+10	1.84E+10	1.64E+09	9.93E+10
KOR	DEU	1.26E+09	2.69E+08	2.64E+08	34250753	1.66E+09	4.98E+09	9.5E+09	6.45E+09	7.46E+09	7051047	3.19E+10
KOR	GBR	3.96E+08	1.36E+08	6.01E+08	1.27E+09	4.29E+08	1E+09	3.73E+09	1.5E+09	1.81E+09	2.96E+08	1.12E+10
KOR	FRA	5.27E+08	1.35E+08	76870003	6.55E+08	3.54E+08	1E+09	1.99E+09	1.58E+09	2.87E+09	6430544	9.2E+09
KOR	BRA	1.89E+08	37349182	22137632	47598601	5.26E+08	8.42E+08	1.35E+09	1.19E+09	3.64E+09	428453.9	7.85E+09
KOR	ITA	5.41E+08	1.53E+08	84572856	49647708	1.27E+09	1.91E+09	1.4E+09	9.39E+08	8.38E+08	8979453	7.19E+09
KOR	RUS	3.94E+08	4.19E+08	71806689	1.8E+08	7.69E+08	1.52E+09	6.27E+09	2.29E+09	1.39E+09	670547.6	1.33E+10
KOR	IND	3.74E+08	6.11E+08	7.82E+08	1.96E+09	5.38E+09	6.73E+09	2.13E+09	3.99E+09	4.82E+09	5.03E+08	2.73E+10
KOR	CAN	1.89E+08	1.61E+08	1.88E+08	1.61E+08	7.6E+08	6.14E+08	3.11E+09	1.16E+09	9.8E+08	9727594	7.33E+09
KOR	AUS	4.13E+08	7.8E+08	1.21E+08	1.31E+10	2.69E+09	2.03E+09	6.82E+09	5.08E+09	1.87E+09	6025399	3.3E+10
KOR	ESP	1.87E+08	63119729	20808353	5167608	2.88E+08	5.95E+08	6.82E+08	3.16E+08	4.12E+08	5455861	2.57E+09
KOR	MEX	64742432	21143112	14383726	15125360	4.96E+08	3.01E+08	8.04E+08	1.17E+09	9.12E+08	14349629	3.81E+09
KOR	TUR	78514207	23410909	5025010	6604132	2.05E+08	5.08E+08	1.63E+08	3.32E+08	4.15E+08	2168434	1.74E+09
KOR	IDN	4.72E+09	1.23E+09	1.62E+08	1.3E+10	5.68E+09	5.37E+09	1.62E+09	3.63E+09	2.52E+09	2265431	3.8E+10
KOR	NLD	1.03E+08	60369737	16667050	1.79E+09	3.86E+08	7.64E+08	3.01E+08	1.67E+09	1.52E+09	12107162	6.63E+09
KOR	SAU	2.89E+09	9.07E+08	2.62E+08	3.65E+08	9.16E+09	7.76E+09	3.18E+10	1.64E+10	1.26E+10	2401679	8.22E+10
KOR	CHE	1.45E+08	82927813	2.95E+08	7584509	2.88E+08	1.12E+09	1.37E+09	1.03E+09	6.86E+08	2113217	5.04E+09
KOR	SWE	1.22E+08	40392362	21667410	1867811	2.32E+08	3.27E+08	6.71E+08	4.66E+08	9.31E+08	669068.5	2.81E+09
KOR	NGA	2.61E+08	1.18E+08	8794117	1.07E+08	1.27E+09	1.32E+09	2.03E+09	3.96E+08	3.31E+08	131842.5	5.84E+09
KOR	POL	71329468	11655321	4684230	266181.3	1.33E+08	1.61E+08	1.09E+08	5.35E+08	5.91E+08	180350.9	1.62E+09
KOR	BEL	78280253	11882129	13378759	1.76E+08	2.89E+08	5.54E+08	8.9E+08	4.96E+08	58315530	5990369	2.57E+09
KOR	ARG	1.15E+08	22570862	8341623	89491970	2.17E+08	5.47E+08	3.99E+08	5E+08	9.38E+08	32809.13	2.84E+09
KOR	NOR	37801664	29699487	7649445	7436080	52587385	79913192	3.73E+09	2.87E+08	3.23E+08	2102610	4.56E+09
KOR	VEN	4674846	1635129	576334	4704	39759233	35935495	52329922	50311231	50616305	14430	2.36E+08
KOR	AUT	35412410	28168872	14377207	378349.2	88297389	1.04E+08	2.92E+08	8.74E+08	8.05E+08	90988.03	2.24E+09
KOR	IRN	86016478	2.6E+08	7901437	9717957	5.81E+08	9.31E+08	3.03E+08	1.24E+09	7.5E+08	65677	4.17E+09
KOR	THA	3.11E+08	4.29E+08	3.35E+08	4.09E+08	3.63E+09	2.52E+09	4.11E+08	2.02E+09	1.91E+09	1073773	1.2E+10
KOR	ARE	2.76E+09	1.97E+09	2.11E+08	7.03E+08	5.44E+09	4.16E+09	7.24E+09	8.59E+09	9E+09	5100521	4.01E+10
JPN	USA	9.63E+08	9.82E+08	1.22E+09	4.77E+08	4.6E+09	1.01E+10	3.85E+10	3.01E+10	1.31E+10	2.87E+09	1.03E+11
JPN	CHN	1.3E+10	1.02E+10	1.36E+10	7.36E+09	6.1E+10	1.05E+11	6.07E+10	1.75E+11	1.45E+11	3.34E+09	5.94E+11

Окончание табл. на след. стр.

Окончание табл. 1 на след. стр.

Exporter	Importer	Textiles and furniture	Vegetables, foodstuffs and wood	Stone and glass	Minerals	Metals	Chemicals and plastics	Transport vehicles	Machinery	Electronics	Other	total, \$
JPN	DEU	2.76E+08	1.47E+08	4.67E+08	26428277	7.43E+08	2.64E+09	4E+09	9.29E+09	6.05E+09	2.01E+09	2.57E+10
JPN	GBR	1.13E+08	66773216	4.16E+08	2.24E+08	3.48E+08	8.68E+08	2.12E+09	2.36E+09	1.1E+09	1.2E+08	7.74E+09
JPN	FRA	2.5E+08	1.29E+08	1.27E+08	17290908	2.83E+08	2.17E+09	2.76E+09	4.39E+09	1.51E+09	14914941	1.17E+10
JPN	BRA	85897230	81795411	47414907	12046408	8.55E+08	1.62E+09	2.37E+09	3.87E+09	1.25E+09	30711415	1.02E+10
JPN	ITA	4.66E+08	91755871	2.45E+08	39227825	3.79E+08	1.78E+09	1.78E+09	2.83E+09	6.93E+08	17284991	8.32E+09
JPN	RUS	2.13E+08	4.62E+08	1.08E+08	1.1E+08	5.49E+08	1.49E+09	1.07E+10	3.33E+09	7.9E+08	1.4E+08	1.79E+10
JPN	IND	3.38E+08	1.04E+08	2.26E+08	4.61E+08	4.17E+09	3.26E+09	2.93E+09	6.37E+09	1.93E+09	5.91E+08	2.04E+10
JPN	CAN	1.01E+08	1.33E+08	63643390	44162709	6.98E+08	9.52E+08	4.97E+09	3.74E+09	1.35E+09	88341094	1.21E+10
JPN	AUS	1.75E+08	5.99E+08	9.11E+08	8.31E+09	4.03E+09	3.69E+09	2.43E+10	7.92E+09	1.96E+09	9.56E+08	5.28E+10
JPN	KOR	5.26E+08	9.74E+08	1.84E+09	3.47E+09	1.07E+10	1.54E+10	1.83E+09	1.46E+10	8.68E+09	1.21E+09	5.93E+10
JPN	ESP	34984840	23133064	20146625	34407251	1.03E+08	4.58E+08	1.59E+09	1.19E+09	4.91E+08	1823037	3.94E+09
JPN	MEX	30739240	9232658	21493877	22481902	7.53E+08	2.78E+08	1.28E+09	1.35E+09	7.36E+08	1.01E+08	4.58E+09
JPN	TUR	19146464	4739007	4304489	764803.8	91738659	1.51E+08	1.36E+08	4.88E+08	86131285	572952.6	9.83E+08
JPN	IDN	1.35E+09	6.32E+08	4.11E+08	4.04E+08	1.05E+10	7.78E+09	7.68E+09	1.8E+10	5.45E+09	1.99E+09	5.43E+10
JPN	NLD	26608649	68809062	27109987	6749065	1.51E+08	6.67E+08	3.51E+08	2.34E+09	9.44E+08	44326410	4.63E+09
JPN	SAU	1.16E+09	3.12E+08	4.7E+08	1.63E+08	1.06E+10	4.84E+09	3.47E+10	1.45E+10	3.76E+09	5.16E+08	7.1E+10
JPN	CHE	73162499	56700941	2.78E+09	4744839	1.77E+08	1.81E+09	1.47E+09	1.21E+09	4.44E+08	7.87E+08	8.81E+09
JPN	SWE	17457740	14572119	14792851	3509562	1.9E+08	1.88E+08	1.23E+09	6.03E+08	3.66E+08	1482526	2.63E+09
JPN	NGA	5.83E+08	27525427	21987093	39294.71	1.44E+09	3.84E+08	1.17E+09	1.97E+09	2.34E+08	19565222	5.85E+09
JPN	POL	25119677	7196304	10654885	2852564	61196607	1.67E+08	3.33E+08	5.93E+08	1.74E+08	20081893	1.4E+09
JPN	BEL	27184323	9458968	37934361	5426498	57862374	6.95E+08	7.46E+08	7.58E+08	2.86E+08	9347077	2.63E+09
JPN	ARG	7609918	5848025	6993858	2988088	1.09E+08	4.55E+08	7.24E+08	1.3E+09	2.53E+08	1755252	2.86E+09
JPN	NOR	6041387	7901849	7148012	495857.8	4.18E+08	1.08E+08	5.46E+08	4.27E+08	60995923	32968039	1.61E+09
JPN	VEN	356747	818426	821484	73816	11638549	40456539	1.92E+08	64417081	8918601	5614657	3.25E+08
JPN	AUT	23638245	10806131	33970548	11093847	86783253	2.8E+08	6.05E+08	5.41E+08	2E+08	40593227	1.83E+09
JPN	IRN	5821383	2158991	1396205	559252	2641055	29606728	1.07E+08	62932987	32825199	5951866	2.51E+08
JPN	THA	4.18E+08	6.7E+08	1.13E+09	1.63E+08	7.41E+09	3.98E+09	3.22E+09	9.15E+09	5.64E+09	1.15E+09	3.23E+10
JPN	ARE	1.43E+09	4.81E+08	4.57E+08	2.26E+08	6.15E+09	4.68E+09	3.18E+10	1.1E+10	3.85E+09	1.34E+09	6.14E+10

Источник: составлено авторами.

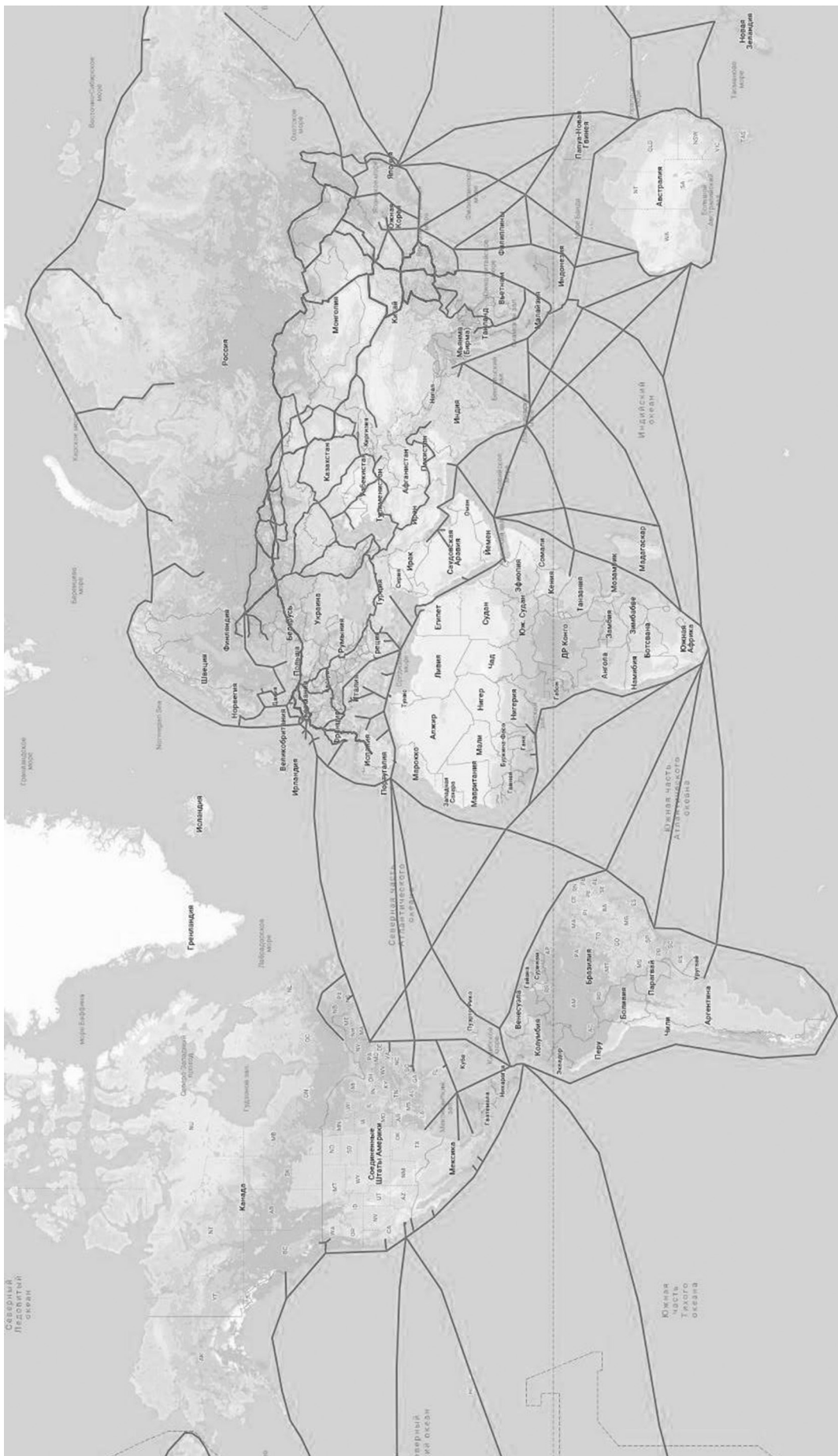


Рис. 4. Схема учитываемых при моделировании торгово-транспортных коридоров (обозначены на рисунке сплошными линиями)

Таблица 2

Пропускная способность и стоимость перевозки грузов по морским и железнодорожным маршрутам

Название маршрута	Страны	Город А	Город Б	Расстояние	Время в пути	Пропускная способность	Стоимость перевозки (долл./кг)
Север — Юг	Северная Европа — страны Персидского залива через Россию и Иран, с участием Казахстана	Хельсинки	Санкт-Петербург	389 км	1 день	788 270 тонн/сутки	0.01
...

Источник: составлено авторами.

и потреблением в i -м узле графа (таким способом задается пространственное распределение спроса и предложения товаров). Также для всех вершин определяется цена товара p_i . Для каждого ребра E_{ij} , соединяющего вершины i и j , определен коэффициент k_{ij} — товарная проводимость между узлами i и j графа, указана категория дороги (0 — автомобильная дорога, 1 — железная дорога, 2 — скоростная железная дорога, 3 — морской путь). Для каждой категории дороги заданы средняя скорость передвижения по ней, а и ее пропускная способность. В ходе моделирования определялось пространственное распределение товарных потоков j и цены p при заданном пространственном распределении производства и потребления товара q .

Самое важное уравнение модели — уравнение (2) представляет собой подобие уравнения теплопроводности, в котором в роли температуры выступает цена p , источниками являются потребители товаров, а стоками — производители товаров. Коэффициент товаропроводности k играет роль коэффициента теплопроводности и вычисляется исходя из длины ребра графа и категории дороги. В результате в системе устанавливаются потоки, при которых для каждого узла i выполняется условие

$$\sum_{j \neq i} k_{ji}(p_i - p_j) = q_i. \quad (3)$$

Следовательно, цены p можно рассчитывать по формуле $p = K^{-1}q$, где K^{-1} — обратная матрица по отношению к матрице K коэффициентов k_{ij} .

Для расчета обратной матрицы используется библиотека NumPy языка программирования Python. Данная библиотека содержит раздел linalg, представляющий собой набор стандартных матричных операций линейной алгебры. Метод linalg.inv (K) возвращает обратную матрицу к матрице K .

Для вычисления коэффициентов товаропроводности k_{ij} необходимо определить пропускную способность ребер графа, скорости

передвижения по ребрам графа и длины ребер графа. С этой целью была составлена таблица, содержащая данные по морским и железнодорожным маршрутам: основные города, входящие в маршрут, время преодоления участков маршрута, их пропускная способность и стоимость перевозки (фрагмент таблицы представлен в таблице 2).

В каждой строке таблицы указано время доставки груза из города А в город Б. С помощью алгоритма Дейкстры в графе находится кратчайший путь из вершины А в вершину Б. Путь представляет собой последовательность ребер графа, которые нужно пройти, чтобы попасть из города А в город Б. Для каждого ребра известна категория дороги (железная дорога, скоростная железная дорога, морской путь) и его длина l . Следовательно, для всего пути из города А в город Б можно найти суммарные расстояния, пройденные по дорогам категории 1, категории 2 и категории 3. Скорости на дорогах различных категорий являются неизвестным вектором $V = (v_1, v_2, v_3)$. Время доставки грузов, с одной стороны, находится посредством деления расстояния на скорость, а с другой стороны, известно из таблицы, описанной выше. Заполняется таблица вида таблицы 3.

С помощью линейной регрессии (рис. 5) находится вектор скоростей $V = (v_1, v_2, v_3)$:

— средняя скорость на железной дороге — 27,8 км/ч;

— средняя скорость на высокоскоростной железной дороге — 108,16 км/ч;

— средняя скорость по морю — 18,7 км/ч.

Для расчета коэффициентов товаропроводности также необходимо оценить пропускную способность ребер графа. Для морского пути оценки делаются на основе провозной способности Малаккского пролива как самого узкого места морского пути (источник информации: Malaysian Marine Department¹). Для желез-

¹ Numbers of ships reporting under straitrep for 2017 [Электронный ресурс]. URL: <https://drive.google.com/>

Таблица 3

Время прохода грузового транспорта по морским и железнодорожным маршрутам

Суммарное время прохода по всем ребрам категории 1	Суммарное время прохода по всем ребрам категории 2	Суммарное время прохода по всем ребрам категории 3	Время (статистика)
$\tau_{11} = l_{11} / v_1$	$\tau_{12} = l_{12} / v_2$	$\tau_{13} = l_{13} / v_3$	T_1
$\tau_{21} = l_{21} / v_1$	$\tau_{22} = l_{22} / v_2$	$\tau_{23} = l_{23} / v_3$	T_2
...
$\tau_{n1} = l_{n1} / v_1$	$\tau_{n2} = l_{n2} / v_2$	$\tau_{n3} = l_{n3} / v_3$	T_n

Источник: составлено авторами.

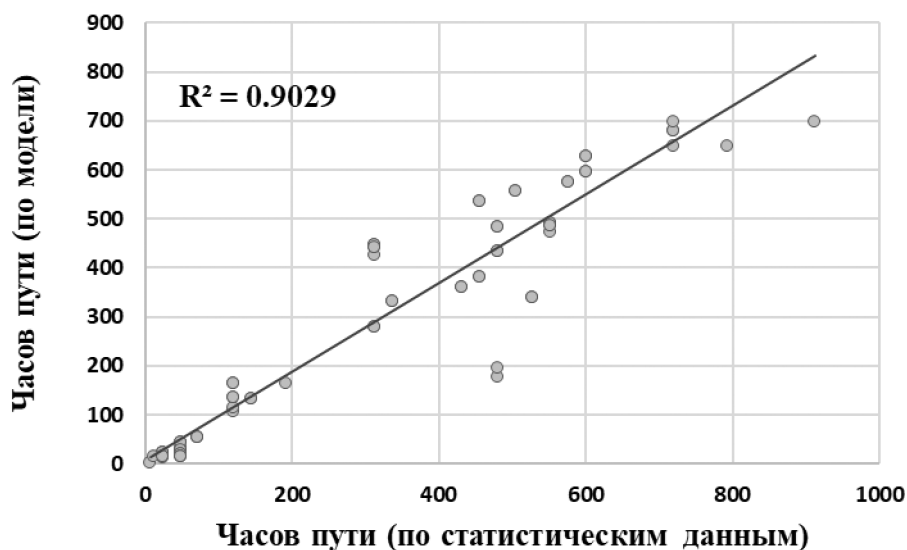


Рис. 5. Связь между рассчитанными временами перехода и временами по статистическим данным

нодорожных путей параметры оцениваются с использованием статистики Транссибирской магистрали. Таким образом, на основе полученных параметров провозной способности m и скорости V для каждого ребра рассчитываются коэффициенты товаропроводности по формуле:

$$k = V \times m / l, \tag{4}$$

где V — скорость прохода по ребру; m — пропускная способность ребра; l — длина ребра.

Полученные результаты

В ходе моделирования проводились прогнозные оценки структуры торговых потоков к 2025 г. при реализации проекта «Один пояс — один путь» (используемые при проведении расчетов параметры мировой торговли приведены в таблице 1). Основное внимание уделялось изменению торговых потоков, проходящих через территорию России, в результате

строительства высокоскоростных магистралей. Рассмотрены инерционный и несколько параметрических сценариев:

- инерционный сценарий, при котором сохраняется сложившаяся на 2016 г. схема траншпортировки товаров;
- параметрический сценарий №1, предполагающий построение высокоскоростного Северного коридора Трансазиатской железнодорожной магистрали, включая высокоскоростной участок Москва — Казань — Екатеринбург — Казахстан — Урумчи;
- параметрический сценарий №2, включающий строительство высокоскоростной магистрали через Казань — Екатеринбург — Новосибирск — Монголию — КНР (в отсутствие высокоскоростного участка Екатеринбург — Казахстан — Урумчи);
- параметрический сценарий №3, предполагающий создание и использование высокоскоростных магистралей как через Казань — Екатеринбург — Казахстан — Урумчи, так и через Казань — Екатеринбург — Новосибирск — Монголию — КНР.

Во всех расчетах также учитывался Северный морской путь (в 2016 г. по Северному морскому пути было доставлено около

file/d/1_afnUbJW5O8B5pF3VvPV859i5kgfCyVA/view (дата обращения: 23.10.2018); Marine Department Malaysia [Электронный ресурс]. URL: http://www.marine.gov.my/jlmeng/Contentdetail.asp?article_id=245&category_id=4&subcategory_id=42&subcategory2_id=0#.Wg8u8TclGUk (дата обращения: 23.10.2018).

7,5 млн т грузов (360 тыс. *TEU*), в 2017 г. — 10,7 млн т¹).

Инерционный сценарий отражает сложившуюся на настоящий момент схему торговли², при которой по морю транспортируется 99,5 % всего товарного потока, а по железнодорожным путям — 0,5 % потока.

Сценарий №1 предполагает создание высокоскоростного Северного коридора Трансазиатской железнодорожной магистрали, включая высокоскоростной участок Москва — Казань — Екатеринбург — Казахстан — Урумчи. По предварительным расчетам, полученным по модели, товарные потоки перераспределяются следующим образом: по морю будет перевозиться 95,8 % всего товарного потока, по железнодорожным путям — 4,2 % всего товарного потока. При этом товаропоток, проходящий через Москву, вырастет на 92 %, через Казань — на 1023 %, через Иркутск — снизится на 56 % по сравнению с инерционным сценарием (снижение потока через Иркутск связано с тем, что часть товаропотока оттянет на себя ВСМ, проходящая через Казахстан). Товаропоток через Малаккский пролив уменьшится на 3,3 % по сравнению с инерционным сценарием.

Моделирование показывает, что реализация параметрического сценария №2 (строительство ВСМ через Казань — Екатеринбург — Новосибирск — Монголию — КНР в отсутствие высокоскоростного участка Екатеринбург — Казахстан — Урумчи) приведет к тому, что товаропоток, проходящий через Москву вырастет на 98 %, через Казань — на 588 %, через Иркутск — на 340 %, а через Малаккский пролив — уменьшится на 3,25 % по сравнению с инерционным сценарием.

И наконец, реализация параметрического сценария №3 (создание и использование ВСМ как через Казань — Екатеринбург — Казахстан

— Урумчи, так и через Казань — Екатеринбург — Новосибирск — Монголию — КНР) приведет к тому, что товаропоток, проходящий через Москву, вырастет на 242 %, через Казань — на 1430 %, через Иркутск — на 268 %, а через Малаккский пролив — уменьшится на 6,1 % по сравнению с инерционным сценарием.

Таким образом, наиболее благоприятным для России является третий сценарий. Здесь важно отметить, что строительство ВСМ такого масштаба станет мощным импульсом для экономики всех регионов, через которые пройдет магистраль, обеспечит заказами многие отрасли обрабатывающей промышленности, повысит транспортную связность восточных и центральных регионов страны, улучшит их экономические связи.

В случае соединения Транссибирской магистрали с Японией (через о. Сахалин) и с Южной Кореей (через КНДР) транзитные товаропотоки через территорию России еще более возрастут.

Заключение

Перспективы развития мировой торговли в значительной мере связаны с реализацией китайского проекта «Один пояс — один путь», который существенным образом изменит современные трансевразийские транспортные потоки. России нужно использовать открывающиеся в связи с этим возможности и свой транзитный потенциал для повышения своей роли в мировой торговле и для ускорения собственного экономического роста.

Предложенная в работе пространственная математическая модель позволяет оценить, как изменятся трансевразийские транспортные потоки в случае реализации масштабных проектов по модернизации российской железнодорожной сети. Моделирование показывает, что наиболее благоприятным для реализации транзитных возможностей и для экономического роста является сценарий создания высокоскоростной магистрали (ВСМ) от Владивостока до западной границы России.

При реализации ВСМ вследствие увеличения пропускной способности Транссибирской магистрали, а также уменьшения времени транспортировки грузов до 3–5 дней положение для России изменится в лучшую сторону. Стоимость такого проекта, по предварительным расчетам, оценивается в 18 трлн руб., включая стоимость скоростного подвижного состава [26]. Срок окупаемости проекта составит восемь лет с момента начала эксплуатации железнодорожных путей.

¹ Ольга Самофалова. Северный морской путь становится дорогой с двусторонним движением [Электронный ресурс]. URL: <https://vz.ru/economy/2018/9/13/940866.html> (дата обращения: 24.10.2018).

² В настоящее время по морю перевозится 22 млн *TEU* (99,5 % совокупного потока товаров), а по железнодорожным маршрутам — 105 тыс. *TEU* (0,5 % всего потока товаров). Это результат того, что стоимость транспортировки грузов по железной дороге достаточно высокая. Доставка одного контейнера из Китая в Европу по морю обходится в 800–2000 долл., в то время как по железной дороге — 3000–6000 долл. Также отрицательно сказывается низкая пропускная способность имеющихся железнодорожных магистралей, несмотря на то, что срок перевозки контейнера из Китая в Европу по железной дороге составляет 10–15 дней (против 30–45 дней при перевозке по морю).

Положительный эффект будет наблюдаться для различных отраслей обрабатывающей промышленности в более чем 20 регионах. В частности, результатом реализации проекта станет увеличение валового регионального продукта и открытие дополнительных рабочих мест [25].

Благодарность

Авторы благодарят Малкова С. Ю., Билюгу С. Э., Кирилюка И. Л., Белоусова А. Н., Пантелеева Г. Ю., внесших ценный вклад в проведение исследований и обсуждение результатов работ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Смит А. Исследование о природе и причинах богатства народов / Пер. с англ., вводная ст. и коммент. Е. М. Майбурда. — М.: Наука, 1993. — 572 с.
2. Ricardo D. On the Principles of Political Economy and Taxation. Piero Sraffa (Ed.) Works and Correspondence of David Ricardo, Volume I, Cambridge University Press, 1951. — 135 p.
3. Улин Б. Межрегиональная и международная торговля / Пер. с англ. М. Я. Каждана. — М.: Дело, 2004. — 416 с.
4. Samuelson P. A., William D. Nordhaus. Economics. Boston, Mass: Irwin/McGraw-Hill, 1998. — 776 p.
5. Клюкин П. Н., Маликова О. И. Россия в системе международного разделения труда. Взгляд с позиции экономической теории. — М.: Изд-во РАГС, 2008. — 60 с.
6. Dixit A., Stiglitz J. Monopolistic competition and optimum product diversity // American Economic Review. — 1977. — Vol. 67. — No. 3. — 1977. — pp. 297–308.
7. Рыбчинский Т. Начальный запас факторов и относительные цены товаров // Вехи экономической мысли. Т. 6. Международная экономика / Под ред. А. П. Киреева. — М.: ТЕИС, 2006. — С. 231–235.
8. Leontief W. Domestic Production and Foreign Trade. The American Capital Position Re-Examined // Proceedings of the American Philosophical Society. — 1953. — No. 97 (4). — P. 332–349.
9. Кругман П. Р., Обстфельд М. Международная экономика. Теория и политика / Пер. с англ. Кузин В. И., Лисочкина О. — СПб.: Издательство: Питер, 2003. — 832 с.
10. Vernon R. International Investment and International Trade in the Product Cycle // Quarterly Journal of Economics. — 1966. — Vol. 80, No. 2. — P. 190–207.
11. Киреев А. П. Международная экономика. Ч. 1. Международная микроэкономика. Движение товаров и факторов производства. — М.: Международные отношения, 1997. — 416 с.
12. Портер М. Международная конкуренция. Конкурентные преимущества стран / Пер. с англ. Квасюк И. В., Комиссаров Д. С., Комиссаров С. Д., Калыгин И. В., Каменновская И. Е., Коровкина М. Е., Звенигородская М. Э., Михневич К. П. — М.: Международные отношения, 1993. — 895 с.
13. Tinbergen J. Shaping the World Economy An Analysis of World Trade Flows // New York Twentieth Century Fund. — 1962. — Vol. 5, No. 1. — P. 27–30.
14. Linnemann H. An Econometric Study of International Trade Flow. — Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1966. — 234 p.
15. McCallum J. National borders matter. Canada-US regional trade patterns // The American Economic Review. — 1995. — V. 85(3). — Pp. 615–623.
16. Anderson J., van Wincoop E. Gravity with Gravitas. A Solution to the Border Puzzle // American Economic Review. — 2003. — Vol. 93(1). — Pp. 170–192. — DOI: 10.3386/w8079.
17. Anderson J. E. A Theoretical Foundation for the Gravity Equation // American Economic Review. — 1979. — V. 69 (1). — Pp. 106–116.
18. Каукин А., Идрисов Г. Гравитационная модель внешней торговли России. Случай большой по площади страны с протяженной границей // Экономическая политика. — 2013. — № 4. — С. 133–154.
19. Каукин А. С., Павлов П. Н., Филичева Е. В. Моделирование пространственного распределения российских внешнеторговых потоков с учетом реальных издержек транспортировки // Российское предпринимательство. — 2015. — № 16(23). — С. 4297–4310.
20. Дегтерева Е. А., Мосейкин Ю. Н., Чернова В. Ю. Совершенствование внешнеторговой политики России на основе гравитационного моделирования. На примере стран БРИКС // МИР. Модернизация. Инновации. Развитие. — 2016. — Т. 7, № 4. — С. 121–128.
21. Wilson A. G. A statistical theory of spatial distribution models // Transportation Research. — 1967. — Vol. 1. — P. 253–270.
22. Beckmann M., McGuire C. B., Winsten C. B. Studies in the economics of transportation. RM-1488. — Santa Monica: RAND Corporation, 1955. — 359 p.
23. Beckmann M. J., Pui T. Spatial Economics: Density, Potential and Flow. — North-Holland, Amsterdam, 1985. — 294 p.
24. Малков А. С. О математическом моделировании товаропотоков. — М.: Ин-т прикладной математики им. М. В. Келдыша, 2005. — 45 с.

25. Социально-экономическая эффективность развития железнодорожной сети Сибири и Дальнего Востока. Математическое моделирование и прогноз / Садовничий В. А., Осипов Г. И., Акаев А. А., Малков А. С., Шулгин С. Г. // Экономика региона. — 2018. — Т. 14, вып. 3. — С. 758–777. — DOI: 10.17059/2018-3-6.

26. *Стариков И. В.* Единая Евразия — Новый Транссиб. — М.: ИЭ РАН, 2016. — 102 с.

Информация об авторах

Акаев Аскар Акаевич — иностранный член РАН, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова; Scopus Author ID: 57125020600 (Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1; e-mail: askarakaev@mail.ru).

Давыдова Ольга Игоревна — аналитик-программист, ООО «Айдесайд Консалтинг» (Российская Федерация, 141070, Московская область, город Королев, ул. Калинина, 6б, офис 32; e-mail: davydova.olga.msk@gmail.com).

Малков Артемий Сергеевич — кандидат физико-математических наук, генеральный директор, ООО «Айдесайд Консалтинг»; Scopus Author ID: 24729200900 (Российская Федерация, 141070, Московская область, город Королев, ул. Калинина, 6б, офис 32; e-mail: as@malkov.org).

Шулгин Сергей Георгиевич — кандидат экономических наук, заместитель заведующего лабораторией, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Институт прикладных экономических исследований; Scopus Author ID: 55955365800 (Российская Федерация, 119571, Москва, пр. Вернадского, 82; e-mail: sergey@shulgin.ru).

For citation: Akaev, A. A., Davydova, O. I., Malkov, A. S. & Shulgin, S. G. (2019). Simulation of the Prospective Trade and Transport Corridors within the Framework of the “One Belt, One Road” Project. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 15(4), 981-995

A. A. Akaev^{a)}, O. I. Davydova^{b)}, A. S. Malkov^{b)}, S. G. Shulgin^{c)}

^{a)} Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russian Federation; e-mail: askarakaev@mail.ru)

^{b)} iDecide Consulting Ltd. (Korolyov, Russian Federation)

^{c)} Institute of Applied Economic Research (Moscow, Russian Federation)

Simulation of the Prospective Trade and Transport Corridors within the Framework of the “One Belt, One Road” Project

The rapid growth of trade between Asia and Europe facilitated the revival of the Great Silk Road that used to be one of the main trade routes. The new Silk Road can pass through the territory of several states, contributing to their economic growth. The exact route of the new Silk Road is yet to be defined, as there are several alternative options. We developed a mathematical model based on the thermal conductivity equation, which is widely used in physics. Our model assesses how Trans-Eurasian transport flows will change in case of implementing a particular route variant of the Chinese project “One belt, One road” (taking into account the modernisation of the Russian railway network). Based on the spatial distribution of the goods’ supply and demand, this spatial model simulates and predicts the flow of goods in a particular geographical area. The model uses correlations linking the characteristics of commodity flows and the spatial distribution of prices in the considered territory. We have presented results of calculations for several scenarios of modernisation, including the inertial scenario, which maintains the current scheme of transportation of goods. Moreover, we have examined a scenario, involving the construction of the high-speed Northern corridor of the Trans-Asian railway, including the high-speed line Moscow-Kazan-Ekaterinburg-Kazakhstan-Urumqi, as well as a scenario in which the Silk Road passes through Kazakhstan. The simulations have shown that creation of a high-speed highway from Vladivostok to the Russian Western border is the most favourable scenario for implementing Russia’s transit opportunities and accelerating its economic growth. The simulations’ results can be used for assessing the effectiveness of infrastructure projects aimed at modernisation of the Russian transport network.

Keywords: trade flows, transport corridors, spatial simulation, world trade, High-Speed Railways

Acknowledgments

We would like to thank S. Yu. Malkov, S. E. Bilyuga, I. L. Kirilyuk, A. N. Belousov, G. Yu. Pantelev, who made a valuable contribution to the research and discussion of the results.

References

1. Smith, A. (1993). *Issledovanie o prirode i prichinakh bogatstva narodov [An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations]*. Moscow: Science, 572. (In Russ.)
2. Sraffa, P. (Ed.). (1951). *The Works and Correspondence of David Ricardo. Volume 1. On the Principles of Political Economy and Taxation*. Cambridge University Press, 165.
3. Ohlin, B. G. (2004). *Mezhregionalnaya i mezhdunarodnaya trgovlya [Interregional and international trade]*. Trans. from English. Moscow: Delo, 416. (In Russ.)
4. Samuelson, P. A. & Nordhaus, W. D. (1998). *Economics*. Boston, Mass: Irwin/McGraw-Hill, 776.
5. Klyukin, P. N. & Malikova, O. I. (2008). *Rossiya v sisteme mezhdunarodnogo razdeleniya trud: vzglyad s pozitsii ekonomicheskoy teorii [Russia in the system of the international division of labor: economic theory perspective]*. Moscow: RAGS, 60. (In Russ.)

6. Dixit, A. & Stiglitz, J. (1977). Monopolistic competition and optimum product diversity. *American Economic Review*, 67(3), 297–308.
7. Rybchinskiy, T. (2006). Nachalnyy zapas faktorov i otnositelnye tseny tovarov [Initial stock of factors and relative prices of goods]. In: A. P. Kireev, *Vekhi ekonomicheskoy mysli T. 6. Mezhdunarodnaya ekonomika [Milestones of economic thought. V. 6. International economics]* (pp. 231–235). Moscow: TEIS. (In Russ.)
8. Leontief, W. (1953). Domestic Production and Foreign Trade. The American Capital Position Re-Examined. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 97(4), 332–349.
9. Krugman, P. & Obstfeld, M. (2003). *Mezhdunarodnaya ekonomika. Teoriya i Politika. [International Economics: Theory and Policy]*. Trans. From English. St. Petersburg: Peter, 832. (In Russ.)
10. Vernon, R. (1966). International Investment and International Trade in the Product Cycle. *Quarterly Journal of Economics*, 80(2), 190–207.
11. Kireev, A. P. (1997). *Mezhdunarodnaya ekonomika. Ch. 1. Mezhdunarodnaya mikroekonomika. Dvizhenie tovarov i faktorov proizvodstva [International Economics. Part I. International Microeconomics: the movement of goods and factors of production]*. Moscow: International relationships, 416. (In Russ.)
12. Porter, M. (1993). *Mezhdunarodnaya konkurentsia. Konkurentnye preimushchestva stran [The Competitive Advantage of Nations]*. Trans. from English. Moscow: International relations, 895. (In Russ.)
13. Tinbergen, J. (1962). Shaping the World Economy An Analysis of World Trade Flows. *New York Twentieth Century Fund*, 5(1), 27–30.
14. Linnemann, H. (1966). *An Econometric Study of International Trade Flow*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 234.
15. McCallum, J. (1995). National borders matter: Canada-US regional trade patterns. *The American Economic Review*, 85(3), 615–623.
16. Anderson, J. & van Wincoop, E. (2003). Gravity with Gravitas: A Solution to the Border Puzzle. *American Economic Review*, 93(1), 170–192. DOI: 10.3386/w8079.
17. Anderson J. E. (1979). A Theoretical Foundation for the Gravity Equation. *American Economic Review*, 69(1), 106–116.
18. Kaukin, A. & Idrisov, G. (2013). Gravitatsionnaya model vneshney trgovli Rossii: sluchay bolshoy po ploshchadi strany s protyazhennoy granitsey [The Gravity Model of Russian Foreign Trade: Case of a Country with Large Area and Long Border]. *Ekonomicheskaya politika [Economic Policy]*, 4, 133–154. (In Russ.)
19. Kaukin, A. S., Pavlov, P. N. & Filicheva, E. V. (2015). Modelirovanie prostranstvennogo raspredeleniya rossiyskikh vneshnetorgovykh potokov s uchedom realnykh izderzhkek transportirovok [Modeling of the spatial distribution of Russia's foreign trade flows with account of the real transportation costs]. *Rossiyskoe predprinimatelstvo [Russian Journal of Entrepreneurship]*, 16(23), 4297–4310. (In Russ.)
20. Degtereva, E. A., Moseikin, Yu. N. & Chernova, V. (2016). Sovershchenstvovanie vneshnetorgovoy politiki Rossii na osnove gravitatsionnogo modelirovaniya (na primere stran BRIKS) [Improving the foreign policy of Russia on the basis of the gravity modeling (on the example of the BRICS)]. *MIR. Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitie [MIR. Modernization. Innovation. Research]*, 7(4), 121–128. (In Russ.)
21. Wilson, A. G. (1967). A statistical theory of spatial distribution models. *Transportation Research*, 1, 253–270.
22. Beckmann, M., McGuire, C. B. & Winsten, C. B. (1955). *Studies in the economics of transportation. RM-1488*. Santa Monica: RAND Corporation, 359.
23. Beckmann, M. J. & Puu, T. (1985). *Spatial Economics: Density, Potential and Flow*. North-Holland, Amsterdam, 294.
24. Malkov, A. S. (2005). *O matematicheskom modelirovanii tovaropotokov [About mathematical modeling of trade flows]*. Moscow: Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, 45. (In Russ.)
25. Sadovnichii, V. A., Osipov, G. V., Akaev, A. A., Malkov, A. S. & Shulgin, S. G. (2018). Sotsialno-ekonomicheskaya effektivnost razvitiya zheleznodorozhnoy seti Sibiri I Dalnego Vostoka: Matematicheskoe modelirovanie i prognoz [Socio-Economic Effectiveness of the Development of the Railway Network in Siberia and the Far East: Mathematical Simulation and Forecast]. *Ekonomika regiona [Economy of Region]*, 14(3), 758–777. DOI: 10.17059/2018-3-6. (In Russ.)
26. Starikov, I. V. (2016). *Edinaya Evraziya — Novyy Transsib [United Eurasia — New Trans-Sib]*. Moscow: IE RAS, 102. (In Russ.)

Authors

Askar Akaevich Akaev — Foreign Member of RAS, Doctor of Engineering, Professor, Chief Research Associate, Lomonosov Moscow State University (1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation; e-mail: askarakaev@mail.ru).

Olga Igorevna Davydova — Analyst-programmer, iDecide Consulting Ltd. (6B, Kalinina St., Korolyov, Moscow Region, 141070, Russian Federation; e-mail: davydova.olga.msk@gmail.com).

Artemy Sergeevich Malkov — PhD in Physics and Mathematics, Director General, iDecide Consulting Ltd. (6B, Kalinina St., Korolyov, 141070, Russian Federation; e-mail: as@malkov.org).

Sergey Georgievich Shulgin — PhD in Economics, Deputy Chief of Laboratory, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Institute of Applied Economic Research (82, Vernanskogo St., Moscow, 119571, Russian Federation; e-mail: sergey@shulgin.ru).