

DOI: 10.18287/2542-0461-2020-11-2-102–114

Дата: поступления статьи / Submitted: 14.03.2020

УДК 330.43

после рецензирования / Revised: 30.04.2020



Научная статья / Scientific article

принятия статьи / Accepted: 25.05.2020

**Е.Н. Барышева**

Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация  
E-mail: barisheva.en@ssau.ru. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2455-1152>

**И.С. Максимова**

Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация  
E-mail: irina.maximova@yandex.ru. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8531-2497>

## Исследование показателей дорожно-транспортной сферы методами формирования интегрального фактора

**Аннотация:** Транспортная система России служит важнейшей составной частью производственной инфраструктуры, а ее развитие – одна из приоритетных задач государственной деятельности. В условиях комплексного развития регионов транспорт становится инструментом реализации экономических интересов субъектов. В настоящее время транспортная система Российской Федерации активно развивается. Во многом это определяет развитие экономических показателей, таких как импорт и экспорт, а также увеличение объемов реализации товаров собственного производства. В связи с этим важно и актуально рассмотреть текущее состояние транспортной системы и факторы ее развития. В статье исследуются формы зависимостей показателей дорожно-транспортной отрасли Приволжского федерального округа. В связи с ограниченным объемом выборки предлагается изучение данной сферы с помощью формирования интегрального показателя методами дискриминантного и канонического анализов. Использование канонических переменных в качестве интегральных показателей расширяет возможности применения канонической корреляции в других анализах, в том числе в эконометрическом моделировании. Интегральный фактор, рассчитанный алгоритмом дискриминантного анализа, способствует снижению размерности и позволяет в условиях малого объема выборки оценить степень тесноты и форму зависимости между интегральными переменными.

**Ключевые слова:** эконометрическое моделирование, канонический анализ, дискриминантный анализ, дискриминантные переменные, дорожно-транспортные показатели, интегральные показатели, латентные переменные, каноническая корреляция.

**Цитирование.** Барышева Е.Н., Максимова И.С. Исследование показателей дорожно-транспортной сферы методами формирования интегрального фактора // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2020. Т. 11. № 2. С. 102–114. DOI: <http://doi.org/10.18287/2542-0461-2020-11-2-102-114>.

**Информация о конфликте интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**E.N. Barysheva**

Samara National Research University, Samara, Russian Federation  
E-mail: barisheva.en@ssau.ru. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2455-1152>

**I.S. Maksimova**

Samara National Research University, Samara, Russian Federation  
E-mail: irina.maximova@yandex.ru. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8531-2497>

## Study of the road transport indicators by methods of forming an integral factor

**Abstract:** The transport system of Russia is an important component of the industrial infrastructure, and its development is one of the priorities of state activities. In the context of integrated regional development, transport is a tool for implementing the economic interests of subjects. Currently, the transport system of the Russian Federation is actively developing. This largely determines the development of economic indicators, such as imports and exports, as well as an increase in the volume of sales of goods of their own production. In this regard,

it is important and relevant to study the current state of the transport system and the factors of its development. The paper explores the forms of dependent indicators of the road transport industry of the Volga Federal District. Due to the limited sample size, it is proposed to study this area using the formation of integral indicators using discriminant and canonical analysis methods. The use of canonical variables as integral indicators expands the possibilities of applying canonical correlation in other analyses, including in econometric modeling. The integral factor calculated by the discriminant analysis algorithm reduces the dimension and allows us to estimate the degree of crowding and the form of dependence between the integral variables in conditions of a small sample size.

**Key words:** econometric modeling, canonical analysis, discriminant analysis, discriminant variables, road traffic indicators, integral indicators, latent variables, canonical correlation.

**Citation.** Barysheva E.N., Maximova I.S. Investigation of road transport indicators by methods of forming an integral factor. *Vestnik Samarskogo universiteta. Ekonomika i upravlenie = Vestnik of Samara University. Economics and Management*, 2020, vol. 11, no. 2, pp. 102–114. DOI: <http://doi.org/10.18287/2542-0461-2020-11-2-102-114>. (In Russ.)

**Information on the conflict of interest:** authors declare no conflict of interest.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

© *Евгения Николаевна Барышева* – старший преподаватель кафедры математики и бизнес-информатики, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 443086, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 34.

© *Ирина Сергеевна Максимова* – магистр направления «Бизнес-информатика», Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 443086, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 34.

© *Evgeniya N. Barysheva* – senior lecturer of the Department of Mathematics and Business Informatics, Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russian Federation.

© *Irina S. Maximova* – Master of the direction of Business Informatics, Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russian Federation.

### Введение

В настоящее время возрастает роль транспортной сферы и ее особое значение в развитии всех сфер человека. Развитие транспорта в Российской Федерации всегда было и будет первостепеннейшей стратегической задачей. Транспорт, наряду с другими инфраструктурными отраслями, обеспечивает базовые условия жизнедеятельности общества, являясь важным инструментом достижения социальных, экономических, внешнеполитических целей. Транспортная система России является важнейшей составной частью производственной инфраструктуры, а ее развитие – одна из приоритетных задач государственной деятельности. В связи с этим в стране осуществляется программа «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года». Она была разработана с учетом факторов, определяющих характер и качество развития экономики. В тексте документа отмечается, что в России благодаря модернизации транспортной инфраструктуры, удовлетворившей спрос на грузовые и пассажирские перевозки, сформирована определенная база для дальнейшего развития. С 2016 года дорожно-транспортный сектор вносит положительный вклад в ВВП. По территории Приволжского федерального округа проходят железнодорожные линии, связывающие Центральный и Северо-Западный федеральные округа с Уральским, Сибирским, Дальневосточным федеральными округами, а также с Республикой Казахстан, это определяет перспективы развития транспортной сферы в регионе. Однако одной из главных проблем округа, препятствующих их реализации, является недостаточное для решения широкого спектра задач развитие транспортного логистического комплекса.

Вопросы, возникающие при изучении показателей транспортной сферы, многоплановы и широко масштабны. В научной литературе многопланово описываются модели развития дорожно-транспортной отрасли и их влияние на экономику. В частности, авторы работы [1] рассматривают отличительные черты транспортного сектора Приволжского федерального округа как одной из связующих отраслей между субъектами. Интересные выводы предложены автором работы [2]. Методами анализа, синтеза и сравнения на основе статистических данных за период с 2010 по 2016 год автором были выделены основные проблемы транспортной инфраструктуры. Главным образом они свя-

заны с износом основных фондов и уменьшением объемов инвестиций в транспорт, в качестве результирующих проблем были выделены ухудшение экологической ситуации и рост количества дорожно-транспортных происшествий. Среди классических методов автором работы [3] был выбран динамический анализ объемов перевозок железнодорожным транспортом как в целом по РФ, так и отдельно по регионам. На основе первичного анализа данных были определены основные тенденции развития данного сектора экономики, показавшие сокращение пассажироперевозок и рост грузоперевозок на всех уровнях. Кроме того, анализ выявил независимость сегмента пассажироперевозок от общего числа рыночных факторов, что указывает на монополизацию данного сегмента.

Таким образом, вопросы развития дорожно-транспортной сферы изучаются достаточно комплексно, однако проблема определения зависимости данного сектора от внешних экономических факторов, таких как торговля, а также от развития промышленности в научной литературе представлена недостаточно полно. В условиях комплексного развития регионов транспорт является инструментом реализации экономических интересов субъектов. Поэтому актуально исследовать текущее состояние транспортной системы и факторы ее развития.

Многомерные методы позволяют решать различные задачи [4–6]. В качестве метода проведения исследования в работе предлагается комбинирование методов дискриминантного и канонического анализов, а также выбор оптимальной формы зависимости показателей дорожно-транспортной сферы с помощью эконометрического моделирования. Корреляционно-регрессионный анализ, как известно, является одним из наиболее широко распространенных и гибких приемов обработки статистических данных [7–11].

В регрессионном анализе в качестве исходной в работе рассматривалась модель вида:

$$Y_t = c + b_1 x_i + U_i, \quad U_i \sim N(0, \sigma^2), \quad i = 1, 2 \dots n, \quad (1)$$

где  $U_i$  – случайное слагаемое или ошибка модели.

Для изучения зависимости одной переменной  $Y$  от нескольких объясняющих переменных  $X_1, X_2, \dots, X_n$  в работе строились модели множественной линейной регрессии. При  $t$  наблюдениях зависимых переменных и  $x_{t1}, x_{t2}, \dots, x_{tp}$  – объясняющих переменных модель множественной линейной регрессии имеет вид

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 x_{t1} + \beta_2 x_{t2} + \dots + \beta_p x_{tp} + U_i. \quad (2)$$

Кроме того, для корректного отображения существующих процессов и явлений в исследовании также строились нелинейные регрессионные модели. При переходе от нелинейных форм связей к линейным используется простое преобразование модельных параметров или непосредственно изучаемых признаков. Мультипликативная (степенная) модель выглядит как:

$$Y_i = \beta_0 * x_{i1}^{\beta_1} * x_{i2}^{\beta_2} * U_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (3)$$

Мультипликативная модель (3) может быть приведена к линейной с помощью логарифмирования обеих частей уравнений. Тогда мультипликативная модель принимает вид:

$$\ln Y_i = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln x_{i1} + \beta_2 \ln x_{i2} + \ln U_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (4)$$

В основе дискриминантного анализа лежит формирование такого показателя, который на основе исходных многомерных данных позволил бы классифицировать объекты исследования, оценить ранг между ними. Обучающие выборки для разделения объектов на два кластера в работе были сформированы методом  $k$ -средних. Полученные кластеры, имеющие разные величины средних значений, позволяют рассчитать интегральный показатель, общий вид которого представлен соотношением

$$u = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n, \quad i = 1, \dots, n, \quad (5)$$

Алгоритм дискриминантного анализа достаточно хорошо представлен в литературе [5]. Важной расчетной величиной является несмещенная оценка обобщенной матрицы ковариации, ее вид описы-

вается формулой  $S = \frac{X_1^T X_1 + X_2^T X_2}{n_1 + n_2 - 2}$ , где  $n_1$  и  $n_2$  – объемы выборок. Значение дискриминантной переменной представляется линейной комбинацией, в которой коэффициенты  $a_i$  рассчитываются с использованием соотношения  $A = S^{-1}(X_{cp1} - X_{cp2})$ , т. е. умножением обратной матрицы к обобщенной матрице ковариации на разность векторов средних значений по выборкам.

Таким образом, используя линейный дискриминантный анализ, можно профиль объекта, характеризующийся многомерным вектором, перевести в точечную оценку, которая имеет смысл интегрального фактора. Этот фактор обобщает в себе все выбранные для исследования показатели.

Аналогично интегральный показатель можно получить с помощью канонического анализа. Известно, что для одновременного анализа взаимосвязи нескольких результативных показателей и большого числа воздействующих факторов применяется метод канонической корреляции. Алгоритм метода канонических корреляций также предполагает замену исходных переменных их линейными комбинациями. При этом формируются две канонические переменные, а также проводится оценка коэффициента канонической корреляции между ними. Общий вид канонических переменных  $U$  и  $V$  представлен соотношениями:

$$U = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_g x_g;$$

$$V = b_1 y_1 + b_2 y_2 + \dots + b_p y_p.$$

Использование канонических переменных в качестве интегральных показателей расширяет возможности применения канонической корреляции в других анализах, в том числе в эконометрическом моделировании.

Данные для исследования взяты из статистического ежегодника «Регионы России: основные социально-экономические показатели 2018». Для анализа были выбраны 8 показателей. Для проведения сравнительного анализа и подбора оптимальных моделей показатели были взяты по субъектам Приволжского и Центрального федеральных округов за 2017 год [12].

**Таблица 1 – Показатели экономической и транспортной сфер по ПФО за 2017 год**

**Table 1 – Indicators of the economic and transport sectors in the Volga Federal District for 2017**

Субъекты ПФО	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
Республика Башкортостан	1415,8	254,6	1082923	28,5	43,1	103,8	31,5	2897
Республика Марий Эл	53,6	10,1	152086	1,2	6,7	97,8	31,7	578
Республика Мордовия	155	30,1	167180	3,1	20,7	10,3	27,5	5068
Республика Татарстан	1510,9	607,3	1596330	15,8	67,5	101,9	26	6206
Удмуртская Республика	130,4	453,1	321066	2,1	19,5	102,4	50,4	1885
Чувашская Республика	141,2	56,1	172565	0,7	8,2	100,1	32,9	960
Пермский край	697	161,6	933960	45,3	32,4	132	31,1	3064
Кировская область	179,7	19,9	199822	6,2	12,4	101,4	41	1509
Нижегородская область	1151,3	371,8	1237833	15,6	23,9	130,9	39	3193
Оренбургская область	1625,1	547,7	304238	37,3	14,6	100	39,8	2070
Пензенская область	117,2	46,3	195823	2,4	14,9	101,4	33,5	2535
Самарская область	2983,2	390,1	969528	20,9	42,2	104,6	36,1	3624
Саратовская область	575,4	103,8	352459	15	14,7	108,2	38,4	2592
Ульяновская область	144	80	256480	3,2	8,9	108	33,7	1147

В работе анализировались следующие показатели:

- торговля со странами СНГ (млн долларов);
- экспорт ( $Y_1$ );
- импорт ( $Y_2$ );

- обрабатывающее производство (объем отгруженных товаров в млн руб.) ( $Y_3$ );
- отправление грузов железнодорожным транспортом общего пользования, млн т ( $X_1$ );
- перевозки грузов автомобильным транспортом организаций всех видов деятельности, млн т ( $X_2$ );
- индексы тарифов на грузовые перевозки, % ( $X_3$ );
- инвестиции в основной капитал по виду деятельности – машины, оборудование, транспортные средства, % от общего объема инвестиций ( $X_4$ );
- грузооборот автомобильного транспорта, млн т/км ( $X_5$ ).

Таким образом, анализируемые данные представляют собой многомерный массив размерностью 14x8. Первый этап изучения зависимости экономических показателей – экспорта и импорта – от перевозок грузов автомобильным и железнодорожным транспортом включал построение парных линейных моделей. Были построены четыре линейные модели по показателям Приволжского федерального округа, полученные формы зависимости со значениями коэффициента детерминации и уровнями значимости, а также доверительными интервалами для объясняющих переменных представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Парные модели зависимости показателей транспортной и экономической сфер в ПФО**  
**Table 2 – Paired models of the dependence of indicators of transport and economic sectors in the Volga Federal District**

Зависимость импорта ( $Y_2$ , млн долларов) от объемов отправленных грузов железнодорожным транспортом ( $X_1$ , млн т)		
Уравнение: $Y_2 = 6,5 * X_1 + 132,1$	$R^2 = 0,19$ $\alpha = 0,1$	$-1,75 < X_1 < 14,75$ $F_{набл} = 2,94$
Зависимость импорта ( $Y_2$ , млн долларов) от перевозок грузов автомобильным транспортом организаций всех видов деятельности ( $X_2$ , млн т)		
Уравнение: $Y_2 = 7,76 * X_2 + 40,9$	$R^2 = 0,4$ $\alpha = 0,01$	$1,8 < X_2 < 13,7$ $F_{набл} = 8,05$
Зависимость экспорта ( $Y_1$ , млн долларов) от объемов отправленных грузов железнодорожным транспортом ( $X_1$ , млн т)		
Уравнение: $Y_1 = 35,1 * X_1 + 282$	$R^2 = 0,34$ $\alpha = 0,02$	$4,68 < X_1 < 65,52$ $F_{набл} = 6,32$
Зависимость экспорта ( $Y_1$ , млн долларов) от перевозок грузов автомобильным транспортом организаций всех видов деятельности ( $X_2$ , млн т)		
Уравнение: $Y_1 = 33 * X_2 - 1,4$	$R^2 = 0,43$ $\alpha = 0,01$	$9,45 < X_2 < 56,6$ $F_{набл} = 9,31$

Из характеристик моделей, представленных в таблице 2, видно, что самую слабую линейную связь имеет показатель импорта с показателем перевоза груза железнодорожным транспортом. Также из значения уровня значимости данной модели можно сделать вывод, что модель не является статистически значимой. Остальные модели статистически значимы, однако из значений коэффициентов детерминации 0,4, 0,34, 0,43 можно сделать вывод, что они отражают слабую линейную связь выбранных показателей. При изучении транспортных показателей в работе построены графики зависимости показателя, описывающего импорт от железнодорожных и автомобильных грузоперевозок, а также показателя экспорта от железнодорожных и автомобильных грузоперевозок. Результаты построения с эмпирическими данными, уравнениями тренда и соответствующими коэффициентами аппроксимации представлены на рисунках 1–4.

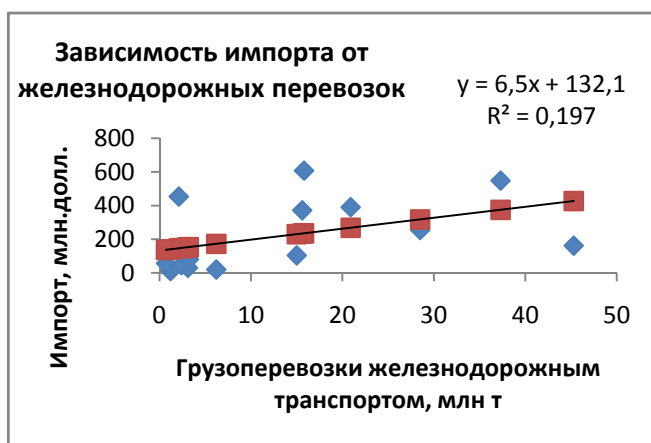


Рис. 1 – Зависимость импорта от железнодорожных перевозок  
Fig. 1 – Dependence of imports on rail transportation

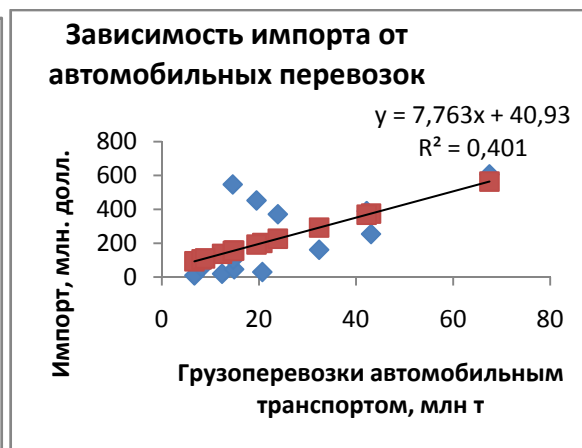


Рис. 2 – Зависимость импорта от автомобильных перевозок  
Fig. 2 – Import dependence on motor transportation

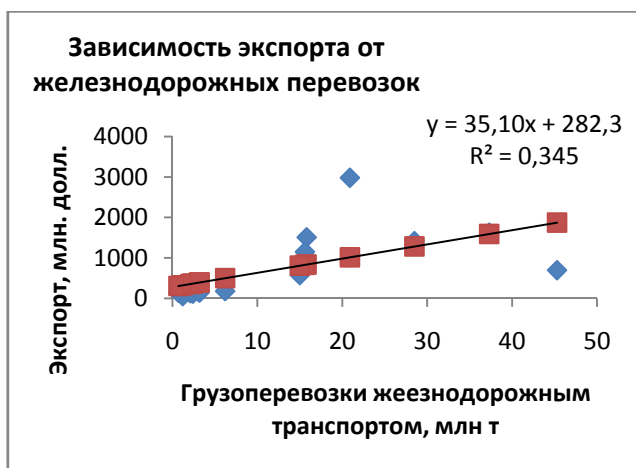


Рис. 3 – Зависимость экспорта от железнодорожных перевозок  
Fig. 3 – Dependence of exports on rail transportation

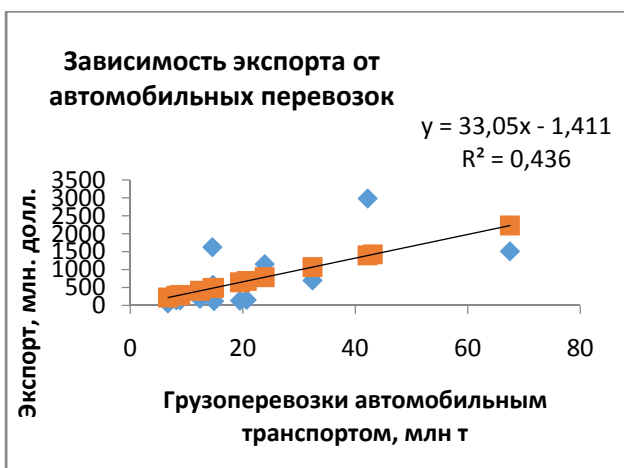


Рис. 4 – Зависимость экспорта от автомобильных перевозок  
Fig. 4 – Dependence of export on road transportation

Представленные на рисунках 1–4 корреляционные поля позволяют сделать вывод о слабой линейной зависимости между величинами экспорта и импорта от факторов грузоперевозок автомобильным и железнодорожным транспортом. Низкий коэффициент детерминации показывает, что необходимо в исследовании использовать другие факторы или менять спецификацию модели. Продолжение исследования в работе базируется на применении многомерных моделей, как линейных, так и нелинейных. Далее представлены четыре модели. В первой модели изучалась зависимость показателя «обрабатывающее производство» ( $Y_3$ , объем отгруженных товаров в млн руб) от показателей экспорта ( $X_1$ , млн долларов), импорта ( $X_2$ , млн долларов), инвестиций в основной капитал по виду основных фондов – машины, оборудование, транспортные средства ( $X_3$ , в долях). Множественная линейная модель регрессии представляется соотношением

$$Y_3 = 1227931,857 + 155,8X_1 + 1253,7 X_2 - 30188,7X_3.$$

Множественный коэффициент корреляции составил 0,798, коэффициент детерминации – 0,637. Уровень значимости модели – 0,014. Для данной модели регрессионная статистика представлена в таблице 3 детально.

**Таблица 3 – Регрессионная статистика**  
**Table 3 – Regression Statistics**

Показатели	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-значение
Y-пересечение	1227931,857	564074,836	2,177	0,055
X <sub>1</sub>	155,792	153,376	1,016	0,334
X <sub>2</sub>	1253,702	641,612	1,954	0,079
X <sub>3</sub>	-30188,706	16032,131	-1,883	0,089

При увеличении экспорта на 1 млн долларов показатель обрабатывающего производства вырастет на 155,8 млн руб., а при увеличении импорта на 1 млн долларов – на 1253,7 млн руб. Однако при росте инвестиций в основной капитал по виду основных фондов – машины, оборудование, транспортные средства – показатель обрабатывающего производства будет снижаться. Таким образом, уравнение множественной линейной зависимости статистически значимо, однако параметры модели имеют уровни значимости 0,055, 0,334, 0,079, 0,089 соответственно и показатель экспорта не оказывает статистически значимого влияния на объем отгруженных товаров.

Сводные параметры изучаемых моделей представлены в таблице 4.

**Таблица 4 – Многомерные модели зависимостей показателей транспортной и экономической сфер в ПФО**  
**Table 4 – Multidimensional models of dependencies of indicators of transport and economic sectors in the Volga Federal District**

Зависимость экспорта (Y <sub>1</sub> , млн долларов) от объемов отправления грузов железнодорожным транспортом (X <sub>1</sub> , млн т) и от перевозок грузов автомобильным транспортом организаций всех видов деятельности (X <sub>2</sub> , млн т)			
Уравнение: Y <sub>1</sub> = 22.163 * X <sub>1</sub> + 25.03 * X <sub>2</sub> - 124	R <sup>2</sup> = 0,54 α = 0,013	7,39 < X <sub>1</sub> < 51,72 0,3 < X <sub>2</sub> < 49,76	Уровни значимости переменных: X <sub>1</sub> - 0,127 X <sub>2</sub> - 0,048
Зависимость экспорта (Y <sub>1</sub> , млн долларов) от объемов отправления грузов железнодорожным транспортом (X <sub>1</sub> , млн т) и от перевозок грузов автомобильным транспортом организаций всех видов деятельности (X <sub>2</sub> , млн т)			
Уравнение: Y <sub>1</sub> = 20.87 * X <sub>1</sub> <sup>0.64</sup> * X <sub>2</sub> <sup>0.57</sup>	R <sup>2</sup> = 0,83 α = 0,01	0,28 < X <sub>1</sub> < 1 0,15 < X <sub>2</sub> < 1,29	Уровни значимости переменных: X <sub>1</sub> - 0,016 X <sub>2</sub> - 0,039
Зависимость показателя – обрабатывающее производство (Y <sub>3</sub> , объем отгруженных товаров в млн руб.) от показателей экспорта (Y <sub>1</sub> , млн долларов), импорта (Y <sub>2</sub> , млн долларов), инвестиций в основной капитал по виду основных фондов – машины, оборудование, транспортные средства (X <sub>3</sub> , в долях).			
Уравнение: Y <sub>3</sub> = 1227931,857 + 155,8X <sub>1</sub> + 1253,7X <sub>2</sub> - 30188,7X <sub>3</sub>	R <sup>2</sup> = 0,66 α = 0,01	185,9 < X <sub>1</sub> < 497,53 -175,89 < X <sub>2</sub> < 2683,3 -65910 < X <sub>3</sub> < 15335	Уровни значимости переменных: X <sub>1</sub> - 0,334 X <sub>2</sub> - 0,079 X <sub>3</sub> - 0,089

Из характеристик моделей, представленных в таблице 4, можно сделать вывод, что все построенные модели являются статистически значимыми. В первой модели уровень значимости показателя перевозок грузов железнодорожным транспортом не оказывает значимого влияния на экспорт. Это означает, что линейная зависимость не подходит для описания зависимости данных показателей. В связи с этим далее в работе была построена нелинейная модель.

В полученной нелинейной модели коэффициент детерминации, равный 0,83, позволил характеризовать степень тесноты связи как высокую. Показатели перевозок грузов железнодорожным и автомобильным транспортом являются значимыми и оказывают статистически значимое влияние на показатель экспорта. В подобных мультипликативных моделях изменчивость зависимой переменной объясняет степень возведения объясняющей переменной. Так, для Самарской области прогнозируемое значение экспорта в 2017 году будет равняться 1232,66 млн долларов, а в 2016 году – 1107,9 млн долларов.

При исследовании строились и другие многомерные модели. Однако у значимых моделей обнаруживалось множество незначимых объясняющих переменных, а незначимым моделям соответствовали значимые переменные, описывающие их. В связи с этим можно сделать вывод, что ограниченный объем выборки не позволяет получить корректную форму зависимости на большом числе переменных. Это приводит к нарушению условий формирования моделей. Учитывая реальные особенности данных в исследовании, возникает необходимость увязать множество объясняющих или независимых переменных в интегральный фактор. Далее в работе для решения проблемы построения эконометрических моделей на малом объеме выборки предлагается введение интегральных показателей на дискриминантных и канонических переменных. Оба подхода базируются на построении матриц корреляции и ковариации.

Для проведения дискриминантного анализа сформирована таблица размерностью 14x6. Произведена структуризация данных. В качестве множества объясняющих переменных были выбраны следующие показатели по Приволжскому федеральному округу за 2017 год:

- Добыча полезных ископаемых (объем отгруженных товаров собственного производства), млн руб.;
- Обрабатывающие производства (объем отгруженных товаров собственного производства), млн руб.;
- Индексы тарифов на грузовые перевозки (декабрь к декабрю предыдущего года), %;
- Инвестиции в основной капитал по виду основных фондов – машины, оборудование, транспортные средства, % от общего объема инвестиций;
- Экспорт, млн долл.;
- Импорт, млн долл.

Рассчитанные значения вектора А представлены в таблице 5.

**Таблица 5 – Коэффициенты вектора А**  
**Table 5 – Coefficients of vector A**

Переменные	Описание переменных	А
$X_1$	Добыча полезных ископаемых (объем отгруженных товаров собственного производства), млн руб.	-0,00007
$X_2$	Обрабатывающие производства (объем отгруженных товаров собственного производства), млн руб.	0,00004
$X_3$	Индексы тарифов на грузовые перевозки (%)	-0,09082
$X_4$	Инвестиции в основной капитал по виду основных фондов – машины, оборудование, транспортные средства, % от общего объема инвестиций	-0,20105
$X_5$	Экспорт, млн долл.	0,01085
$X_6$	Импорт, млн долл.	0,03068

Таким образом, уравнение расчета интегральной переменной принимает вид:

$$u = -0,00007X_1 + 0,00004X_2 - 0,09082X_3 - 0,2X_4 + 0,01X_5 + 0,03X_6.$$

Из полученного уравнения можно сделать вывод о вкладе каждой переменной в значение интегрального показателя. Самым высоким весовым коэффициентом обладает показатель импорта, самым низким – показатель инвестиций. Так, например, для Самарской области интегральный показатель принимает следующее значение:

$$u = -19,96 + 36,745 - 9,499 - 7,258 + 32,355 + 11,967 = 44,343.$$

Аналогично в работе рассчитывались значения интегрального показателя  $u$  для всех субъектов ПФО. Результаты расчетов представлены в сводной таблице интегральных показателей – таблице 6.



**Таблица 6 – Сводная таблица значений интегральных показателей и рангов для субъектов ПФО**

**Table 6 – Summary table of values of integral indicators and ranks for the subjects of the Volga Federal District**

Субъекты ПФО	Значение интегрального показателя и ранг					
	$u$	ранг	$U_1$	ранг	$V_1$	ранг
Республика Башкортостан	31,40	4	3554,33	4	285,72	2
Республика Марий Эл	-8,65	14	39,49	14	41,19	14
Республика Мордовия	2,47	7	321,20	11	126,64	6
Республика Татарстан	41,10	3	5083,43	2	418,64	1
Удмуртская Республика	-5,89	10	1797,67	7	118,48	8
Чувашская Республика	-5,96	12	375,90	10	49,64	13
Пермский край	8,22	5	1837,13	6	238,66	4
Кировская область	-7,40	13	286,87	13	80,20	11
Нижегородская область	50,99	1	3469,48	5	158,24	5
Оренбургская область	0,45	8	5032,05	3	124,43	7
Пензенская область	-5,90	11	291,36	12	91,32	10
Самарская область	44,34	2	7033,11	1	272,75	3
Саратовская область	3,01	6	1364,53	8	102,73	9
Ульяновская область	-3,36	9	468,86	9	56,32	12

Далее в работе изучалась зависимость грузоперевозок автомобильным и железнодорожным транспортом от объемов отгруженных товаров собственного производства, изменения цен на грузовые перевозки, инвестиций и торговли в 2017 году. На рис. 5 и 6 изображены корреляционные поля и графики зависимости степенных моделей с эмпирическими данными, уравнениями тренда и соответствующими коэффициентами аппроксимации.

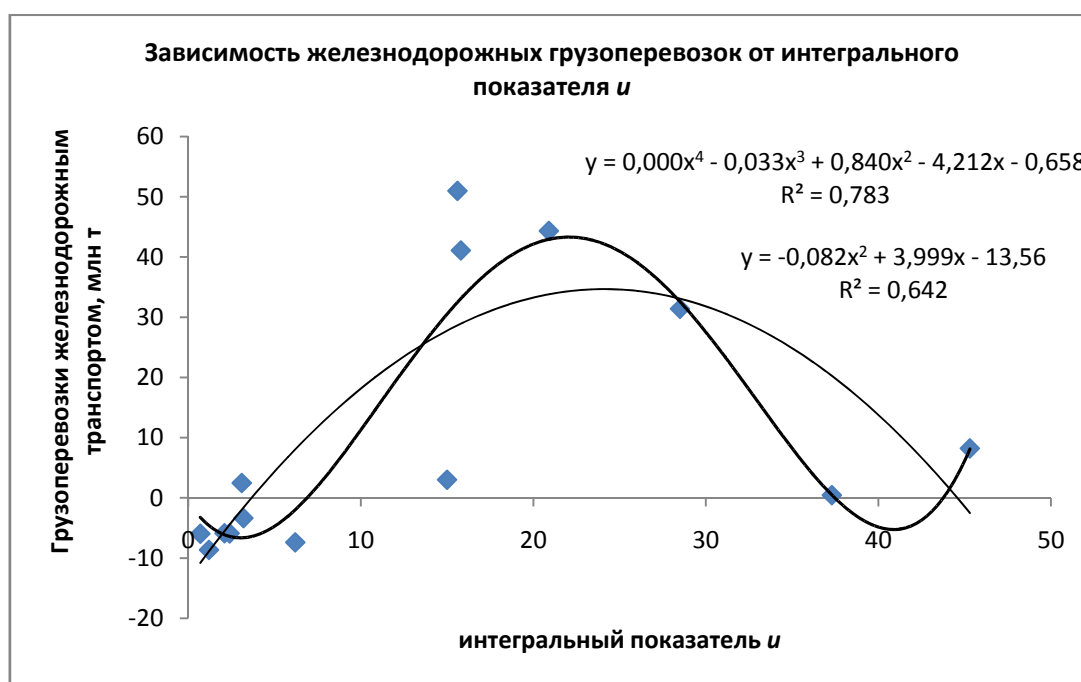


Рис. 5 – Зависимость железнодорожных перевозок от интегрального показателя  
Fig. 5 – Dependence of rail transportation on an integrated indicator

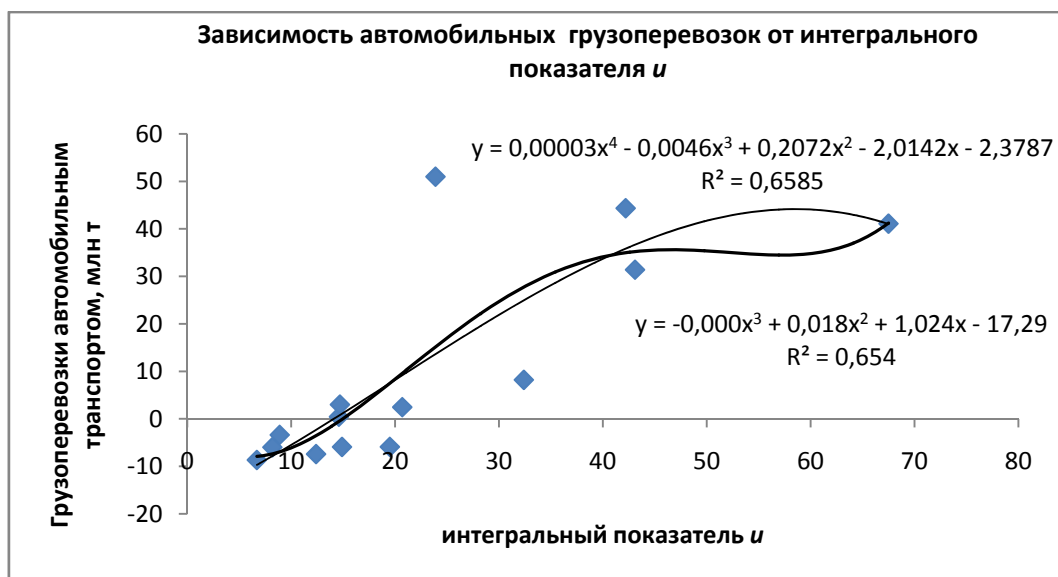


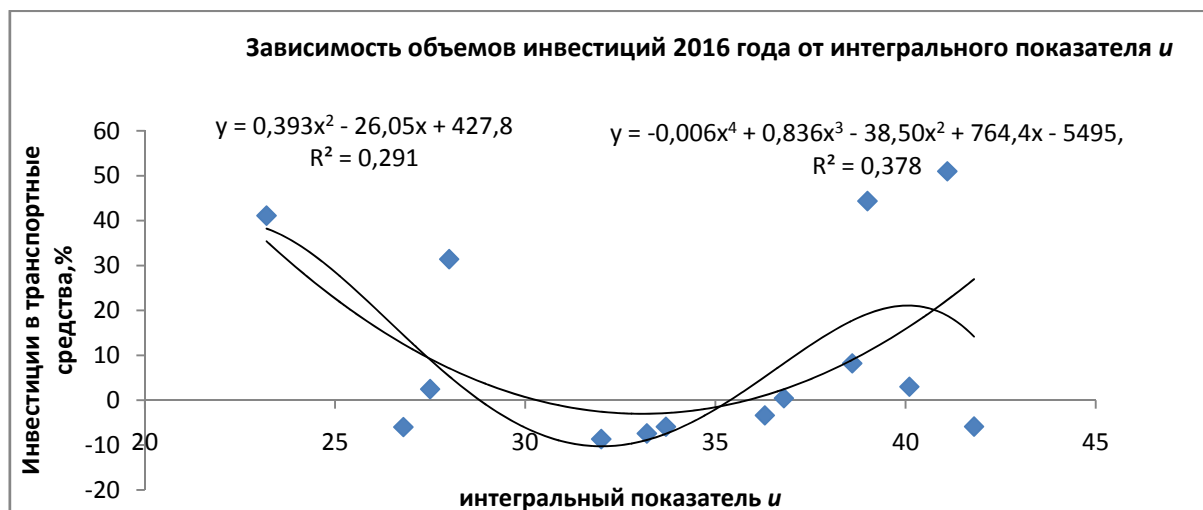
Рис. 6 – Зависимость автомобильных перевозок от интегрального показателя

Fig. 6 – Dependence of road transportation on the integral indicator

Как видно из рис. 5, 6, линейная связь между выбранными показателями отсутствует. В обоих случаях нелинейная форма зависимости показателей представлена полиномом четвертой степени, так как это позволяет отразить наиболее тесную связь показателей.

В работе изучалась связь между инвестициями в 2016 и 2017 годах от интегрального показателя  $u$ .

На рис. 7 и 8 изображены графики полученных моделей с эмпирическими данными, уравнениями тренда и соответствующими коэффициентами аппроксимации.

Рис. 7 – Зависимость объемов инвестиций 2016 года от интегрального показателя  $u$ Fig. 7 – Dependence of investment volumes of 2016 on the integral indicator  $u$ 

Как видно из рис. 7, 8, линейная связь между показателями отсутствует. Коэффициент детерминации нелинейных связей на обоих рисунках также свидетельствует о слабой зависимости показателей. Интегральный показатель не оказывает статистически значимого влияния на инвестиции 2016 и 2017 годов.

Таким образом, средствами дискриминантного анализа показатели были связаны в линейную комбинацию и с помощью коэффициентов вектора  $A$  оценен вклад показателей в интегральную переменную.

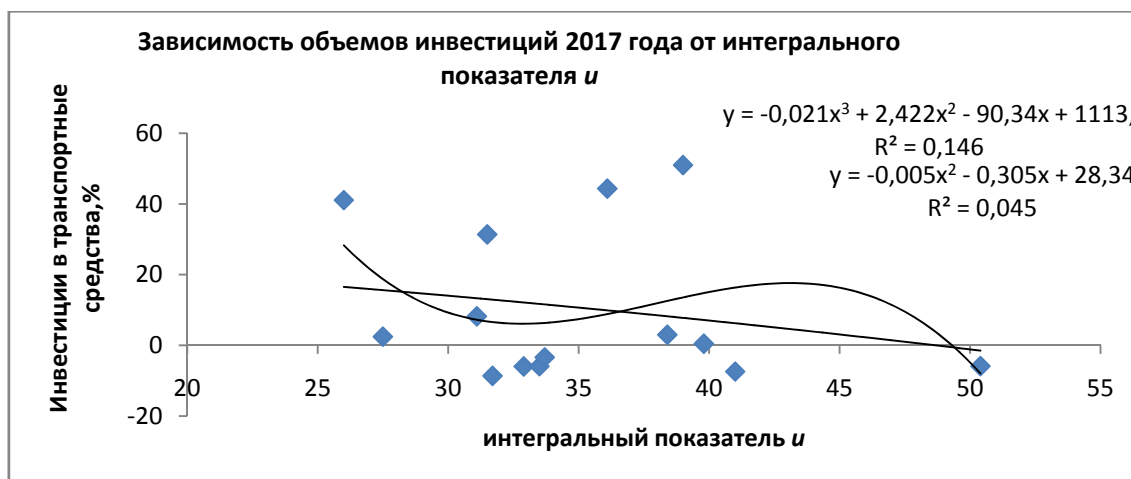


Рис. 8 – Зависимость объемов инвестиций 2017 года от интегрального показателя  $u$   
 Fig. 8 – Dependence of investment volumes of 2017 on the integral indicator  $u$

В качестве второго подхода для получения интегральной переменной использовалась методика канонической корреляции. Выявление влияния множества  $X$  на множество  $Y$  является задачей дальнейшего исследования. Множество  $X$  составляют финансовые показатели – инвестиции в основной капитал по виду основных фондов – машины, оборудование и транспортные средства, % ( $X_5$ ), экспорт, млн долл. ( $X_6$ ), импорт, млн долл. ( $X_7$ ). Множество  $Y$  представлено показателями грузоперевозок железнодорожным транспортом, млн т ( $Y_1$ ) и автомобильным транспортом, млн т ( $Y_2$ ). Первым этапом была построена матрица корреляции выбранных показателей. Далее она была разбита на четыре блока, и вычислены их обратные матрицы. Была получена сводная матрица, для которой производился расчет собственных векторов и собственных значений. Собственные значения равны:  $\lambda_1 = 0,95, \lambda_2 = 0,25$ . Квадратные корни из собственных значений являются коэффициентами канонической корреляции. Таким образом, первая пара канонических переменных, соответствующая коэффициенту канонической корреляции  $R_1 = 0,97$ , имеет вид

$$U_1 = -3,17X_5 + 1,902X_6 + 3,77X_7;$$

$$V_1 = Y_1 + 5,968Y_2.$$

Второй коэффициент канонической корреляции равен  $R_2 = 0,5$ , и ему соответствует следующая пара канонических переменных:

$$U_2 = 1,59X_5 + 0,17X_6 - 1,82X_7;$$

$$V_2 = Y_1 - 1,763Y_2.$$

Коэффициенты канонической корреляции были проверены на значимость с помощью критерия Бартлетта. Для первой пары канонических переменных наблюдаемое значение статистики критерия  $\chi^2_{\text{набл}}$  составило 32,83, для второй – 2,87, критические значения на уровне значимости 0,05 составили 12,59 и 5,99 соответственно. В результате по полученным значениям можно сделать вывод, что статистически значимой является только первая пара канонических переменных. На значение канонической переменной  $U_1$  сильное влияние оказывают в равной степени изменения показателей инвестиций в основной капитал и импорт. Причем наблюдается снижение инвестиций в основной капитал с ростом показателя импорта. Однако такой показатель, как экспорт, обнаруживает положительное влияние примерно в 2 раза слабее, чем импорт. Следовательно, предположительно, необходимо балансированное изменение импорта в сторону снижения данного показателя в канонической переменной и изменение тенденции снижения инвестиций на таком же образом балансированный рост. Вторая каноническая переменная определяется снижающимся значением автомобильных грузоперевозок. Железнодорожные грузоперевозки в этой переменной дают положительно влияние, которое необходимо усиливать. Для статистически значимой пары канонических переменных были рассчитаны численные значения интегральных показателей. Результат представлен в таблице 6.

При многомерной характеристике субъектов ПФО задача ранжирования является крайне затруднительной. Введение интегрального показателя упрощает решение задачи ранжирования. Как видно из таблицы 8, 14 субъектов ПФО имеют совпадающие или близкие ранги по разным интегральным показателям. По данным значениям было построено поле канонической корреляции с теоретически-

ми значениями канонического интегрального показателя, уравнением тренда на канонических переменных и соответствующим коэффициентом аппроксимации, представленное на рис. 9.

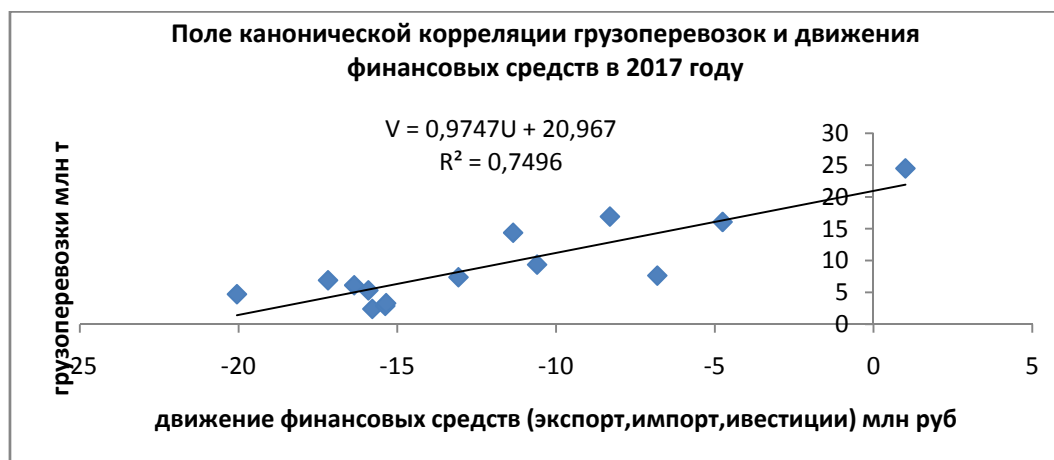


Рис. 9 – Поле канонической корреляции грузоперевозок и движения финансовых средств в 2017 году  
Fig. 9 – Field of canonical correlation of freight transportation and cash flow in 2017

Коэффициент детерминации равен 0,74, что свидетельствует о тесной связи показателей. Суммарное изменение показателей экспорта, импорта и инвестиций примерно на 0,97 млн рублей приводит к линейному росту грузоперевозок в целом примерно на 20 млн рублей. Как видно, возможности применения интегральных показателей в эконометрическом моделировании на малых объемах выборок позволяют визуализировать многомерные данные и провести оценку параметров регрессии.

### Заключение

В настоящее время транспортная система Российской Федерации активно развивается. Во многом это определяет развитие экономических показателей, таких как импорт и экспорт, а также увеличение объемов реализации товаров собственного производства. В связи с этим важно и актуально рассмотреть текущее состояние транспортной системы и факторы ее развития. В ходе изучения парных линейных моделей, построенных по данным Приволжского федерального округа, были выявлены слабые линейные связи. Наиболее тесная связь отображает нелинейную зависимость экспорта и от грузоперевозок автомобильным и железнодорожным транспортом. В связи с ограниченным объемом выборки предлагается изучение данной сферы с помощью формирования интегрального показателя методами дискриминантного и канонического анализов. Показатели перевозок грузов железнодорожным и автомобильным транспортом имеют нелинейную зависимость от показателей обрабатывающего производства, а также от финансовых показателей. Влияние на данные показатели инвестиций в 2017 и 2016 годах отсутствует. Средствами канонического анализа установлена тесная связь группы показателей грузоперевозок с финансовыми показателями.

### Библиографический список

1. Гайсин И.Т., Гайсин Р.И., Власова Е.И. Особенности изучения географии транспортного комплекса Приволжского федерального округа в курсе экономической географии России // Современные наукоемкие технологии. 2016. С. 94–98. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26098134>.
2. Боброва В.В., Бережная Л.Ю. Исследование проблем развития транспортной инфраструктуры (на примере регионов Приволжского федерального округа) // Региональная экономика: теория и практика. 2018. Т. 16, № 12. С. 2292–2302. DOI: <http://doi.org/10.24891/re.16.12.2292>.
3. Тиндова М.Г. Динамический анализ российских перевозок железнодорожным транспортом // Экономические исследования и разработки. 2019. № 11. С. 64–68. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41552390>.
4. Трусова А.Ю. Анализ показателей инновационного потенциала многомерными статистическими методами // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2018. Т. 9. № 4. С. 82–87. URL: <https://journals.ssau.ru/index.php/eco/article/view/6705>.

5. Светуных С.Г., Заграновская А.В., Светуных И.С. Комплексный анализ и моделирование неравномерности социально-экономического развития регионов России. Санкт-Петербург: Научная книга, 2012. 129 с.
6. Сошникова Л.А., Тамашевич В.Н. Многомерный статистический анализ в экономике: учебное пособие для вузов / под ред. проф. В.Н. Тамашевича. Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. 201 с.
7. Соколов Г.А., Сагитов Р.В. Введение в регрессионный анализ и планирование регрессионных экспериментов в экономике: учебное пособие. Москва: Инфра-М, 2016. 352 с.
8. Эконометрическая оценка факторов, влияющих на размер финансового сектора экономики / О.В. Баженов [и др.] // Экономика и математические методы. 2017. № 53 (2). С. 40–49. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29323056>.
9. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ / пер. с англ. Ю.П. Адлера, В.Г. Горского. Москва: Финансы и статистика, 2016. 349 с.
10. Горидько Н.П., Нижегородцев Р.М. Точки роста региональной экономики и регрессионная оценка отраслевых инвестиционных мультипликаторов // Экономика региона. 2018. Т. 14. Вып. 1. С. 29–42. DOI: <http://doi.org/10.17059/2018-1-3>.
11. Айвазян С.А. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: Юнити, 2014. 1024 с.
12. Федеральная служба государственной статистики. Российский статистический ежегодник. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog).

## References

1. Gaysin I.T., Gaysin R.I., Vlasova E.I. Features of studying geography of the transport complex of the Volga Federal district in the course of the economic geography of Russia. *Modern high technologies*, 2016, pp. 94–98. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26098134>. (In Russ.)
2. Bobrova V.V., Berezhnaya L.Yu. Investigating the problems of transport infrastructure development: The Volga Federal District case. *Regional Economics: Theory and Practice*, 2018, vol. 16, no. 12, pp. 2292–2302. DOI: <http://doi.org/10.24891/re.16.12.2292>. (In Russ.)
3. Tindova M.G. Dynamic analysis of russian rail transport. *Economic Development Research Journal*, 2019, no. 11, pp. 64–68. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41552390>. (In Russ.)
4. Trusova A.Yu. Analysis of indicators of innovative potential by multimeasuring statistical methods. *Vestnik Samarskogo Universiteta. Ekonomika i upravlenie = Vestnik of Samara University. Economics and Management*, 2018, vol. 9, no. 4, pp. 82–87. URL: <https://journals.ssau.ru/index.php/eco/article/view/6705>. (In Russ.)
5. Svetunkov S.G., Zagranovskaya A.V., Svetunkov I.S. Complex analysis and modeling of uneven socio-economic development of Russian regions: scientific publication. Saint Petersburg: Nauchnaya kniga, 2012, 129 p. (In Russ.)
6. Soshnikova L.A., Tamashevich V.N. Multidimensional statistical analysis in economics: textbook for universities. V.N. Tamashevich (Ed.). Moscow: YuNITI-DANA, 1999, 201 p. (In Russ.)
7. Sokolov G.A., Sagitov R.V. Introduction to regression analysis and planning of regression experiments in economics: textbook. Moscow: Infra-M, 2016, 352 p. (In Russ.)
8. Bazhenov O.V. [et al.] Econometric estimation of factor's influence on the size of the financial sector. *Economics and Mathematical Methods*, 2017, no. 53 (2), pp. 40–49. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29323056>. (In Russ.)
9. Draper N. Applied regression analysis. Translation from English by Yu.P. Adler, V.G. Gorsky. Moscow: Finansy i statistika, 2016, 349 p. (In Russ.)
10. Goridko N.P., Nizhegorodtsev R.M. Points of growth of regional economy and regression assessment of industry investment multipliers. *Economy of Region*, 2018, vol. 14, issue 1, pp. 29–42. DOI: <http://doi.org/10.17059/2018-1-3>. (In Russ.)
11. Ayvazyan S.A. Applied statistics and fundamentals of econometrics. Moscow: Yuniti, 2014, 1024 p. (In Russ.)
12. Federal State Statistics Service. Russian Statistical Yearbook. Available at: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog). (In Russ.)