

Применение метода коинтеграции структурных данных в анализе рынка жилой недвижимости

Марина Владимировна Боченина

Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

В статье затронуты актуальные вопросы рынка жилой недвижимости, которые предлагается решать с помощью метода коинтеграции временных рядов. Цель исследования — дать оценку структуры рынка жилья по типам квартир, используя динамику цен одного квадратного метра общей площади квартир. В ходе исследования решались следующие задачи: разработка методики определения коинтегрированности временных рядов для данных, имеющих структурные связи; анализ средних цен на квартиры различных типов на первичном и вторичном рынках жилой недвижимости; изучение рынка жилья в Российской Федерации по квартальным данным государственной статистики за период 2000–2020 гг. на основе предлагаемой методики.

По результатам исследования выявлено, что цены на первичном и вторичном рынках жилья по типам квартир не всегда представляют собой интегрированный процесс первого порядка и не могут быть использованы для построения коинтеграционного уравнения. Это потребовало проведения дополнительного анализа и, как следствие, коррекции временного периода. Стационарность линейной комбинации нестационарных данных, соответствующих интегрированному процессу первого порядка, предложено обеспечить применением обобщенного метода наименьших квадратов (ОМНК). В результате сумма элементов коинтеграционного вектора, полученного таким образом, стремится к единице, а сами элементы являются оценкой относительных показателей структуры по типам квартир, представленных на первичном или вторичном рынке жилья соответственно. Предложенная методика позволяет в среднем оценить долю реализованной площади квартир каждого типа в исследуемом периоде как в региональном разрезе, так и в целом по стране.

Отмечено, что предлагаемая методика может быть использована для оценки относительных показателей структуры по временным данным в различных приложениях.

Ключевые слова: коинтеграция, рынок жилья, средняя цена одного квадратного метра, временной ряд.

JEL: R31, R32, C01, C32.

doi: <https://doi.org/10.34023/2313-6383-2021-28-5-79-85>.

Для цитирования: Боченина М.В. Применение метода коинтеграции структурных данных в анализе рынка жилой недвижимости. Вопросы статистики. 2021;28(5):79–85.

The Application of Cointegration Method for Structural Data in the Estate Market Analysis

Marina V. Bochenina

Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russia

The article touches upon the topical issues of the residential real estate market, which are proposed to be solved by means of time series cointegration. The study aims to assess the structure of the housing market by types of apartments using price dynamics per one square meter of apartments' total area. The objectives of the study are to develop a methodology of determination of time series cointegration for the data with structural relationships; to analyze the average prices for the types of apartments on the primary and secondary housing market; to study the housing market in the Russian Federation by quarterly data of state statistics for the period 2000–2020 based on the developed methodology.

The results of the research showed that the prices at the primary and secondary housing market by types of apartments do not always represent an integrated process of the first order and cannot be used for building a co-integration equation. This necessitated additional analysis and, as a consequence, the correction of the time period. It was proposed to ensure stationarity of linear combination of non-stationary data corresponding to the integrated process of the first order by using the generalized least squares method (GLS). The sum of the elements of the cointegrating vector obtained this way tends to unity, and the elements themselves are estimates of the relative indi-

cators of the structure by types of apartments on the primary and secondary housing markets respectively. Thus, the suggested methodology allows estimating, on average, the share of the sold apartments of each type in the period under consideration, both in the regional context and in the country as a whole.

The proposed methodology can be used for the estimation of relative indicators of the structure according to temporal data in different applications.

Keywords: cointegration, housing market, average price per square meter, time series.

JEL: R31, R32, C01, C32.

doi: <https://doi.org/10.34023/2313-6383-2021-28-5-79-85>.

For citation: Bochenina M.V. The Application of Cointegration Method for Structural Data in the Estate Market Analysis. *Voprosy Statistiki*. 2021;28(5):79–85. (In Russ.)

Введение. Коинтеграция характеризует долгосрочное взаимодействие временных рядов и определяется стационарностью линейной комбинации нестационарных переменных [1]. Согласно методологическим рекомендациям Росстата¹, средняя цена одного квадратного метра общей площади квартир рассчитывается раздельно для первичного и вторичного рынка жилья по типам квартир на основе цен совершенных сделок в отчетном квартале по формуле средней арифметической взвешенной. Весом является площадь квартир каждого типа, проданных в предыдущем году в субъекте Российской Федерации. Тип квартир — среднего качества (типовые), улучшенной планировки и элитные — определяется отдельно для первичного и вторичного рынка, при этом на вторичном рынке выделяют еще квартиры низкого качества.

Средние цены на уровне страны формируются на основе агрегирования данных по субъектам Российской Федерации. Росстат публикует квартальные данные о средних ценах на рынках жилья по типам квартир, включая обобщение для всех типов квартир². Возникает вопрос, какова же структура жилого фонда по типам квартир отдельно на первичном и на вторичном рынке. Ответ на этот вопрос можно дать, используя возможности коинтеграции и учитывая методику исчисления средней взвешенной цены, что и определило цель и задачи данного исследования.

Модели коинтеграции временных данных нашли широкое применение при оптимизации валютных портфелей [2 и 3]; на финансовых рынках на их основе не только определяют потенциальные возможности для торговли парой акций, но и оценивают возможности финансового краха [4 и 5]. Эти модели актуальны не только для эко-

номики, они используются в экологии [6], метеорологии [7], нейробиологии [8] и во многих других областях. Так, в работе [9] коинтеграция применяется для оценки текущего состояния инженерных конструкций, вызванного изменениями окружающей среды.

Методика исследования. Расчет средней цены на первичном или вторичном рынке производится с помощью признака веса, который учитывает общую площадь проданных квартир определенного вида (1-комнатных, 2-комнатных, 3-комнатных, 4- и более комнатных) и типа в конкретном типе домов. Формула средней цены 1 кв. м реализованной общей площади квартир всех типов (P) на первичном рынке жилья может быть представлена в следующем виде:

$$P = d_M P_M + d_H P_H + d_E P_E, \quad (1)$$

где d_M , d_H , d_E — доли проданной общей площади типовых, улучшенных и элитных квартир (соответственно) в общем количестве реализованной площади; P_M , P_H , P_E — средние цены 1 кв. м общей площади типовых, улучшенных и элитных квартир соответственно.

Долю проданной общей площади квартир различного типа можно оценить по данным о средних ценах, если воспользоваться определением коинтеграции временных рядов [10] и записать коинтеграционное уравнение, которое будет иметь следующий вид:

$$P = d_M P_M + d_H P_H + d_E P_E + \varepsilon_t, \quad (2)$$

где P , P_M , P_H , P_E — коинтегрированные временные ряды, представляющие собой интегрированный про-

¹ Изменения в Методологические рекомендации по наблюдению за уровнем и динамикой цен на рынке жилья, утвержденные приказом Росстата от 20.01.2009 г. № 7. URL: <https://rosstat.gov.ru/price> (дата обращения 10.02.2021).

² ЕМИСС. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31452?id=31452> (дата обращения 10.02.2021).

цесс первого порядка $I(1)$; ε_t — случайные остатки модели, которые представляют стационарный процесс $I(0)$.

Формула (2) отличается от формулы (1) только наличием стационарного процесса ε_t . Следовательно, если временные ряды коинтегрированы согласно формуле (2), то коэффициенты являются весами при определении средней цены одного квадратного метра общей площади квартир по формуле (1).

Динамика цен на жилищном рынке, как правило, характеризуется возрастающей тенденцией, отражающейся на ценах квартир всех сегментов рынка. Это позволяет предположить, что временные ряды средних цен одного квадратного метра общей площади по типам квартир (P , P_M , P_H , P_E) являются коинтегрированными. Тогда, если временные ряды коинтегрированы, коэффициенты коинтеграции в формуле (2) являются весами средней арифметической взвешенной согласно (1), а следовательно, их сумма равна единице. В коинтеграционном уравнении (2) случайные остатки ε_t имеют нулевое среднее значение; они не будут далеко отклоняться от нуля и время от времени будут пересекать нулевой уровень, приводя выражение (2) к равновесию. Таким образом, долгосрочное равновесие показателей, имеющих между собой структурную связь, определяется суммой коэффициентов коинтеграции, стремящейся к единице.

В отсутствие коинтеграции случайный процесс ε_t значительно отклоняется от нулевого уровня, равновесие, представленное в (1), нарушается и, следовательно, сумма коэффициентов в (2) не будет стремиться к единице. Справедливо будет и обратное утверждение: если сумма коэффициентов уравнения, полученных применением метода наименьших квадратов (МНК) к временным рядам $I(1)$, имеющим структурную связь, в отсутствие константы стремится к единице, а остатки модели стационарны, то данные временные ряды коинтегрированы.

Если динамика исследуемых показателей имеет тенденцию и они являются процессами $I(1)$, то остатки модели могут быть автокоррелированными, то есть не стационарными. Избавиться от автокорреляции в остатках можно с по-

мощью обобщенного метода наименьших квадратов (ОМНК). Остатки, полученные по уравнению на основе ОМНК, являются стационарным процессом. Тогда оценки коэффициентов будут представлять собой коинтеграционный вектор, то есть служить оценкой относительных показателей структуры.

В отличие от первичного рынка, на вторичном рынке появляется еще один тип жилья, а именно квартиры низкого качества. Однако это не влияет на методику оценки структуры. Коинтеграционное уравнение для k временных рядов X_{it} , имеющих структурную зависимость с рядом Y_t , можно представить в следующем виде:

$$Y_t = \sum_{i=1}^k d_i X_{it} + \varepsilon_t, \quad (3)$$

где d_i — элементы коинтеграционного вектора, причем $\sum_{i=1}^k d_i \rightarrow 1$; ε_t — случайные остатки $\sim I(0)$.

Проверку стационарности динамических данных необходимо проводить с помощью двух тестов, имеющих разнонаправленную нулевую гипотезу, так как альтернативная гипотеза всегда сильнее нулевой гипотезы. В качестве таких тестов рекомендуется использовать расширенный тест Дики — Фуллера (ADF) с нулевой гипотезой о наличии в ряду динамики единичного корня и тест Квятковского — Филлипса — Шмидта — Шина (Kwiatkowski, Phillips, Schmidt, Shin — KPSS) с нулевой гипотезой о стационарности временного ряда [11].

Результаты исследования. Исследование по предложенной методике проведено на основе квартальных данных Росстата о средних ценах на первичном и вторичном рынке жилой недвижимости³ в Российской Федерации за 2000–2020 гг.

В таблице 1 представлены результаты проверки временных рядов P , P_M , P_H , P_E на соответствие процессу $\sim I(1)$.

Анализ результатов показал, что все исследуемые ряды имеют тенденцию, так как p -значение теста ADF больше 0,05, что подтверждает наличие единичного корня, а p -значение теста KPSS не превышает 0,05, что позволяет отклонить нулевую гипотезу о стационарности рядов.

³ ЕМИСС. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31452?id=31452> (дата обращения 10.02.2021).

Таблица 1

Проверка на стационарность динамики цен одного квадратного метра общей площади жилья на первичном рынке в Российской Федерации, 2000–2020 гг.

Статистический тест	Уровень значимости / р-значение			
	все типы квартир (P)	квартиры среднего качества (P_M)	квартиры улучшенной планировки (P_H)	элитные квартиры (P_E)
	уровень переменной			
ADF	0,97	0,98	0,97	0,99
KPSS	0,01	0,01	0,01	0,01
	первая разность переменной			
	все типы квартир (P)	квартиры среднего качества (P_M)	квартиры улучшенной планировки (P_H)	элитные квартиры (P_E)
	уровень переменной			
ADF	0,03	0,03	0,01	0,02
KPSS	0,10	0,10	0,10	0,04

Стационарность первых разностей подтвердилась для динамики цен P , P_M , P_H на основе двух рассмотренных тестов. Стационарность первых разностей цен на элитные квартиры была отвергнута тестом KPSS. Следовательно, построение коинтеграционного уравнения в виде (2) невозможно. Визуальное представление данных (см. рисунок)

позволило выявить, что в 2011 г. произошло изменение тенденции цен на элитное жилье.

Анализ цен в течение 2011–2020 гг. показал, что все временные ряды являются интегрированными процессами первого порядка. Коинтеграционное уравнение, построенное с помощью ОМНК, представлено в таблице 2.

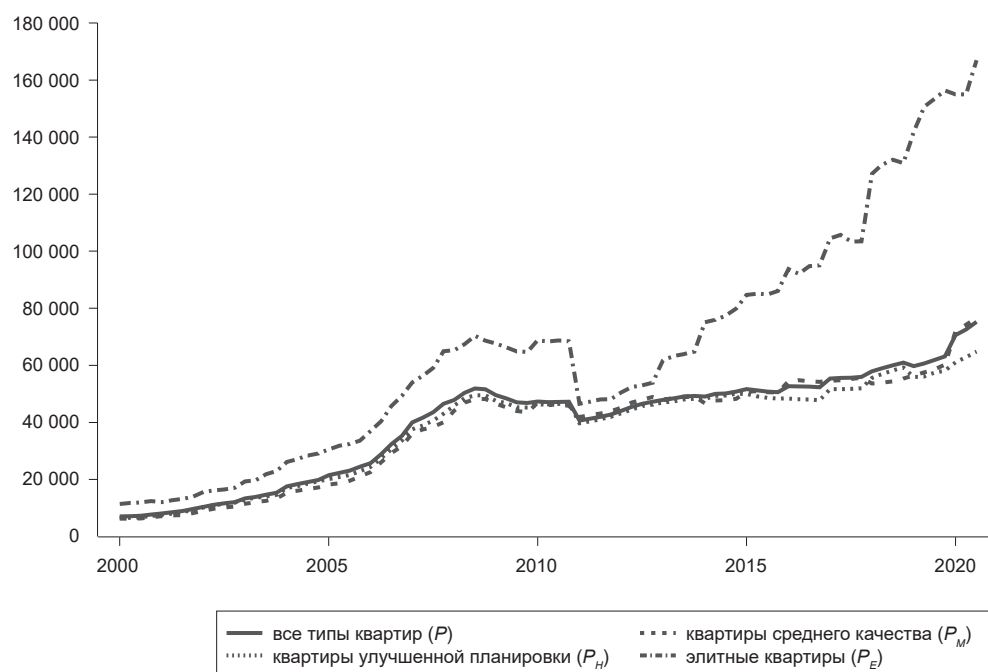


Рисунок. Средняя цена одного квадратного метра общей площади жилья на первичном рынке в Российской Федерации, 2000–2020 гг. (рублей)

Таблица 2

Характеристики коинтеграционного уравнения для первичного рынка жилья, 2011–2020 гг.

Уравнение коинтеграции	R^2	ρ	DW	р-значение	
				ADF	KPSS
$P = 0,45P_M + 0,49P_H + 0,05P_E + \varepsilon_t$ (29,3) (28,4) (12,9)	0,99	0,1	1,75	7×10^{-7}	0,10

Примечание. В скобках указаны фактические значения t-критерия Стьюдента. R^2 – коэффициент детерминации; ρ – коэффициент автокорреляции в остатках; DW – критерий Дарбина – Уотсона. Критические значения: DW (0,05; 40; 3) – $dL=1,33$; $dU=1,65$; t-статистика (36; 0,05) = 2,03.

Уравнение статистически значимо в целом и по параметрам; остатки ε_t являются стационарным процессом, что подтверждается тестами ADF и KPSS. Значения коинтегрирующих коэффициентов в сумме стремятся к единице. Таким образом, структура реализации квартир на первичном рынке жилья в Российской Федерации за последнее десятилетие следующая: 45% про-

даж составили продажи квартир среднего качества (типовые); 49 — квартир улучшенной планировки; 5% — элитных квартир.

Коинтеграционный анализ проведен и для цен вторичного рынка жилья. В результате было получено статистически значимое уравнение (см. таблицу 3).

Таблица 3

Характеристики коинтеграционного уравнения для вторичного рынка жилья, 2011–2020 гг.

Уравнение коинтеграции	R ²	rho	DW	p-значение	
				ADF	KPSS
$P = 0,13P_L + 0,41P_M + 0,44P_H + 0,02P_E + \varepsilon_t$ (3,9) (7,7) (13,7) (4,1)	0,99	0,02	1,9	9×10^{-8}	0,09

Примечание. P_L — средняя цена 1 кв. м общей площади квартир низкого качества. Критические значения: DW (0,05; 40; 4) — $dL = 1,28$; $dU = 1,72$; t-статистика (36; 0,05) = 2,03.

Уравнение коинтеграции позволило установить, что вторичный рынок жилья в последнее десятилетие характеризовался следующей структурой: 13% составляли продажи квартир низкого качества; 41 — квартир среднего качества (типовых); 44 — квартир улучшенной планировки и 2% — элитных квартир.

Таким образом, на российском рынке жилой недвижимости типовые квартиры и квартиры улучшенной планировки представлены равномерно и составляют немногим более 40%. На вторичном рынке жилье низкого качества пока еще составляет значительный объем — более 10%.

Предложенная методика позволяет проводить оценку структуры региональных рынков жилья за исследуемый период. Это дает возможность:

- разрабатывать стратегию строительства жилья, сравнивая предпочтения на вторичном и первичном рынке, а также требования к качеству жилья жителями различных регионов при покупке квартир;

- разрабатывать и реализовывать региональные жилищные и ипотечные программы повышения доступности жилья.

Заключение. В результате представленного исследования разработаны статистически обоснованные рекомендации, позволяющие получить структурные оценки рынка жилья по временным данным. Применение коинтеграции к данным, имеющим структурные связи, позволяет определить коинтегрирующий вектор,

сумма элементов которого стремится к единице, как и должно быть при полном наборе элементов структуры.

Предложенная методика выявления структуры на основе коинтеграции временных данных представлена на примере анализа рынка жилой недвижимости. Методика позволяет оценить долю реализованной площади квартир каждого типа в общем количестве реализованной общей площади квартир всех типов в рассматриваемом периоде как в целом по стране, так и в региональном разрезе. Практическое применение метода коинтеграции в анализе рынка жилья рассмотрено автором в работе [12].

Данная методика может быть использована для оценки относительных показателей структуры по временным данным в решении любых прикладных задач, предполагающих выявление структурных характеристик.

Литература

1. Энгл Р.Ф., Грэнджер К.У. Дж. Коинтеграция и оценивание ошибок: представление, оценивание и тестирование // Прикладная эконометрика. 2015. 39(3). С. 107–135.
2. Dunis C., Laws J., Shone A. Cointegration-Based Optimisation of Currency Portfolios // Journal of Derivatives & Hedge Funds. 2011. Vol. 17. Iss. 2. P. 86–114. doi: <https://doi.org/10.1057/jdhf.2011.11>.
3. Chiu M.C., Wong, H.Y. Mean-Variance Portfolio Selection of Cointegrated Assets // Journal of Economic Dynamics, and Control. Elsevier. 2011. Vol. 35. Iss. 8. P. 1369–1385. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2011.04.003>.

4. **Iori G., Mantegna R.N.** Empirical Analyses of Networks in Finance // C. Hommes, B. LeBaron (eds). *Handbook of Computational Economics*. Vol. 4. Elsevier, 2018. P. 637–685. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/bs.hescom.2018.02.005>.

5. **Gatfaoui H., Nagot I., De Peretti P.** Are Critical Slowing Down Indicators Useful to Detect Financial Crises? // M. Billio, L. Pelizzon, R. Savona (eds). *Systemic Risk Tomography*. Elsevier Ltd., 2017. P. 73–93. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78548-085-0.50003-0>.

6. **Копнова Е.Д., Розенталь О.М.** Эконометрический анализ экологического менеджмента рыбных ресурсов // Прикладная эконометрика. 2010. 18(2). С. 90–100.

7. **Новицкий Г.С., Сирота Е.А., Матвеев М.Г.** Анализ векторных случайных последовательностей на примере метеорологических данных // Международный

научно-исследовательский журнал. 2014. № 1(20). Ч. 1. С. 78–80.

8. **Dahlhaus R.** et al. Statistical Inference for Oscillation Processes // *Statistics*. 2017. Vol. 51. Iss. 1. P. 61–83. doi: <https://doi.org/10.1080/02331888.2016.1266985>.

9. **Cross E.J., Worden K., Chen Q.** Cointegration: A Novel Approach for the Removal of Environmental Trends in Structural Health Monitoring Data // *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical Physical and Engineering Sciences*. 2011. Vol. 467. Iss. 2133. P. 2712–2732. doi: <https://doi.org/10.1098/rspa.2011.0023>.

10. **Engle R.F., Granger C.W.J.** Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing // *Econometrica*. 1987. Vol. 55. Iss. 2. P. 251–276.

11. **Kočenda E., Černý A.** Elements of Time Series Econometrics: An Applied Approach. Prague: Karolinum Press, Charles University, 2015.

Информация об авторе

Боченина Марина Владимировна — канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры статистики и эконометрики, Санкт-Петербургский государственный экономический университет. 191023, г. Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, д. 30/32, ауд. 3007. E-mail: m-bochenina@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5214-8918>.

Благодарность

Автор выражает глубокую признательность члену-корреспонденту РАН, д-ру экон. наук, профессору, зав. кафедрой статистики и эконометрики СПбГЭУ Ирине Ильиничне Елисеевой и д-ру экон. наук, профессору кафедры статистики и эконометрики СПбГЭУ Светлане Владимировне Курышевой за дискуссию и ценные советы при работе над данной статьей.

References

1. **Engle R.F., Granger C.W.J.** Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Applied Econometrics*. 2015;39(3):107–135. (In Russ.)

2. **Dunis C., Laws J., Shone A.** Cointegration-Based Optimization of Currency Portfolios. *Journal of Derivatives & Hedge Funds*. 2011;17(2):86–114. Available from: <https://doi.org/10.1057/jdhf.2011.11>.

3. **Chiu M.C., Wong H.Y.** Mean-Variance Portfolio Selection of Cointegrated Assets. *Journal of Economic Dynamics and Control*. 2011;35(8):1369–1385. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2011.04.003>.

4. **Iori G., Mantegna R.N.** Empirical Analyses of Networks in Finance. In: C. Hommes, B. LeBaron (eds). *Handbook of Computational Economics*. Vol. 4. Elsevier; 2018: 637–685. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/bs.hescom.2018.02.005.5>.

5. **Gatfaoui H., Nagot I., De Peretti P.** Are Critical Slowing Down Indicators Useful to Detect Financial Crises? In: M. Billio, L. Pelizzon, R. Savona (eds). *Systemic Risk Tomography*. Elsevier; 2017:73–93. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78548-085-0.50003-0>.

6. **Kopnova E.D., Rosenthal O.M.** Economic Analysis of Environmental Management of Fishery Resources. *Applied Econometrics*. 2010;18(2):90–100. (In Russ.)

7. **Novitsky G.S., Sirota E.A., Matveev M.G.** Vector Random Sequences Analysis in Case of Meteorological Data. *International Research Journal*. 2014;1(20-1):78–80. (In Russ.)

8. **Dahlhaus R.** et al. Statistical Inference for Oscillation Processes. *Statistics*. 2017;51(1):61–83. Available from: <https://doi.org/10.1080/02331888.2016.1266985>.

9. **Cross E.J., Worden K., Chen Q.** Cointegration: A Novel Approach for the Removal of Environmental Trends in Structural Health Monitoring Data. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical Physical and Engineering Sciences*. 2011;467(2133):2712–2732. Available from: <https://doi.org/10.1098/rspa.2011.0023>.

10. **Engle R.F., Granger C.W.J.** Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica*. 1987;55(2):251–276.

11. **Kočenda E., Černý A.** Elements of Time Series Econometrics: An Applied Approach. Prague: Karolinum Press, Charles University; 2015. 220 p.

About the author

Marina V. Bochenina – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor; Associate Professor, Department of Statistics and Econometrics, Saint Petersburg State University of Economics. 30/32, Griboyedov Canal, Aud. 3007, Saint Petersburg, 191023, Russia. E-mail: m-bochenina@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5214-8918>.

Acknowledgements

The author expresses her deep gratitude to Irina I. Eliseeva, RAS Corresponding Member, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Statistics and Econometrics at St. Petersburg State University of Economics, and Svetlana V. Kuryшева, Doctor of Economics, Professor, Department of Statistics and Econometrics at St. Petersburg State University of Economics, for the discussion and valuable advice while working on this article.

ПОДПИСКА

Продолжается подписка на 2-е полугодие 2021 г. и начинается подписка на 2022 г. на журнал «Вопросы статистики», которую можно оформить во всех отделениях почтовой связи АО «Почта России» (подписной индекс ПМ725) и в альтернативных предприятиях России, стран СНГ и Балтии, а также через АНО ИИЦ «Статистика России».

С 2003 г. выпускается электронная версия журнала. Вы можете оформить годовую подписку на электронную версию журнала или заказать отдельные номера, отправив в издательство письмо-заявку.

Контактный телефон: +7 (495) 607 42 52

E-mail: shop@infostat.ru

Сайт: <https://voprstat.elpub.ru>

Адрес издательства: 107450, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 39, стр. 1