

Оценка финансового заражения на фьючерсных рынках сельскохозяйственных товаров с помощью корреляционного анализа

А. О. Овчаров¹✉

¹ Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

✉ E-mail: anton19742006@yandex.ru

Аннотация. В условиях финансовой нестабильности, затрагивающей все секторы современной экономики, важным направлением является исследование эффектов заражения – распространения нестабильности по разным каналам между странами, отраслями и отдельными экономическими активами. **Целью** работы являлся анализ совместного движения цен на сельскохозяйственные товары через исследование взаимосвязей доходностей товарных фьючерсов и получение на этой основе оценок масштабов и направленности финансового заражения на продовольственных рынках. **Методы.** В работе использовались продвинутое методы корреляционного анализа: определялись скорректированные на гетероскедастичность коэффициенты корреляции, проверялась гипотеза о наличии заражения с помощью тестовой статистики Форбс – Ригобона. Кроме того, на основе расчета волатильности товарных фьючерсов с помощью метода скользящего стандартного отклонения осуществлялось разграничение временных периодов, необходимое для выявления заражения. **Научная новизна.** Впервые в российской практике проведен анализ эффектов финансового заражения в отношении аграрного сектора, получены количественные оценки масштабов и направленности заражения, распространяющегося по внутренним каналам биржевой торговли продовольственными товарами. **Результаты.** Исследование динамики цен на ряд фьючерсов за 2003–2022 гг. позволило выявить периоды повышенной волатильности товарных рынков. Наивысшие значения она принимала в 2008–2009 гг. и 2020–2022 гг. – в эти периоды шоки волатильности привели к распространению заражения на фьючерсных рынках сельскохозяйственных товаров. Однако масштабы заражения оказались неодинаковыми. В кризис 2008–2009 гг. было выявлено 51,8 % случаев заражения, тогда как в 2020–2022 гг. эта доля составила 23,2 %. Что касается передачи заражения в парных связках типа «товар-источник → товар-реципиент», то чаще всего источниками и реципиентами выступали какао, кофе и сахар, реже всего – соевая мука и свинина. Кроме того, анализ парных корреляций позволил сделать вывод о преобладании двунаправленности заражения.

Ключевые слова: финансовое заражение, фьючерсы, сельскохозяйственные товары, корреляция, волатильность, гетероскедастичность, тесты, кризисы.

Для цитирования: Овчаров А. О. Оценка финансового заражения на фьючерсных рынках сельскохозяйственных товаров с помощью корреляционного анализа // Аграрный вестник Урала. 2022. Спецвыпуск «Экономика». С. 60–69. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-228-13-60-69.

Дата поступления статьи: 12.08.2022, **дата рецензирования:** 25.08.2022, **дата принятия:** 05.09.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

Современные рынки сельскохозяйственных товаров тесно связаны друг с другом, поскольку эти товары, как правило, взаимозаменяемы и взаимодополняемы, имеют сходные затраты на сырье, а субъекты аграрного сектора конкурируют за ограниченные природные ресурсы и обмениваются общей рыночной информацией [1]. При этом взаимосвязанность таких рынков может не только позитивно сказываться на производстве и торговле, но и выступать триггером повышенной волатиль-

ности и стресса. Внешние и внутренние шоки могут распространяться по разным направлениям и с разной интенсивностью. Поэтому важным является определение источников и получателей этих шоков, масштабов и механизмов распространения, а также оценивание изменения взаимосвязей на товарных рынках с течением времени.

Решение этого вопроса эмпирическим путем может осуществляться по разным направлениям. Одно из них – это изучение эффектов заражения, т. е. трансмиссии шоков по разным каналам от ис-

точника к реципиенту. Согласно этой концепции, усиление взаимодействий между экономическими активами, в том числе между сельскохозяйственными товарами, может приводить к заражению в экономическом смысле в том случае, когда происходят существенные сдвиги во взаимосвязях. Другими словами, должны быть своего рода «скачки в корреляциях», которые фиксируются разными методами (один из них мы применим в нашей работе). Если такого скачка не наблюдается, то речь идет о совместном движении цен или других показателей на товарных рынках [2; 3]. В периоды нестабильности и кризисов оно может усиливаться, но тем не менее признавать его финансовым заражением нельзя.

Во многих работах по финансовому заражению (а их только за период 1990–2016 гг. в иностранных журналах было опубликовано не менее 151 [4]) исследовались самые разные аспекты этого явления¹. В них финансовое заражение с помощью сложных моделей рассматривается в контексте передачи шоков между странами, отраслями или отдельными рынками вследствие импульса, вызванного разными кризисами [7–9]. Сегодня, например, мы можем наблюдать рост числа статей, посвященных распространению заражения во время COVID-19. В частности, при изучении финансового заражения на шести фондовых рынках (Италии, США, Испании, Соединенном Королевстве, Турции и Китае) использовались динамические условные корреляции (dynamic conditional correlations – DCCs) [10]. Результаты моделей продемонстрировали стремительный рост DCCs на фондовых рынках из-за COVID-19. Для всех рыночных пар коэффициенты корреляции увеличились примерно на 10 %, однако самый резкий рост (20 %) был зафиксирован между китайским и турецким фондовыми рынками. Географический аспект распространения заражения в условиях COVID-19 был рассмотрен и по более крупной выборке – в отношении 10 азиатских и 4 американских стран [11]. В результате они пришли к выводу, что на всех изученных рынках наблюдается заражение. Оценки его интенсивности показали, что американский регион больше пострадал от заражения, чем азиатский: наиболее уязвимыми оказались США, за ними следуют Бразилия, Мексика и Аргентина. Самая низкая интенсивность была зафиксирована в Гонконге, Сингапуре и Тайване – географическая близость этих стран к Китаю позволяет им быстро отреагировать на пандемию и вводить ограничительные меры.

В контексте нашей работы интерес представляют исследования, посвященные заражению, распространяющемуся по внутренним каналам торговли биржевыми товарами. Таких исследований

¹ С сожалением отмечаем малое число работ по данной проблематике в целом у российских экономистов (см., например, [5; 6]) и полное отсутствие российских исследований финансового заражения в отношении аграрного сектора.

гораздо меньше. Стоит выделить статью, в которой было обнаружено финансовое заражение на четырех фьючерсных рынках драгоценных металлов (золото, серебро, платина и палладий) за период 2000–2018 гг. [12]. Золото и серебро оказались самыми сильными источниками заражения, и их воздействие на остальные рынки было однонаправленным. В другой работе также рассматривалась передача заражения внутри товарных групп, но по более широкой выборке. Она включала в себя фьючерсы не только на драгоценные металлы, но и на нефть и газ, а также на ряд продовольственных товаров (сахар, кофе, соя и др.) [13]. По результатам анализа сделан вывод, что среди сельскохозяйственных товаров самым заразным оказался овес, поскольку корреляции доходностей фьючерсных контрактов с ним и с большинством других товаров в периоды повышенной волатильности значительно увеличиваются.

Цель нашего исследования заключается в оценивании взаимного влияния доходностей фьючерсов на сельскохозяйственные товары, торгуемых на международных биржах, и выявление на этой основе фактов заражения и его направленности. При этом предполагается использовать не классический корреляционный анализ, а более продвинутые инструменты, позволяющие получить точные оценки.

Методология и методы исследования (Methods)

Для тестирования заражения сначала рассчитываются доходности (S) фьючерсных контрактов в момент времени t :

$$S_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right),$$

где p_t и p_{t-1} – цена фьючерса соответственно в текущий и предыдущий момент времени.

Затем сравниваются корреляции (r) этой доходности между товарами i и j (рассматриваются все парные связки по выборке) в кризисный период u с докризисным периодом x . Разграничение этих периодов осуществляется по графику динамики волатильности доходности, рассчитываемой через стандартное отклонение (σ). Периоды отсекаются исходя из всплесков волатильности: тот период, где таких всплесков нет или они незначительны, определяется как спокойный (докризисный). Соответственно, период повышенной волатильности определяется как кризисный.

Если корреляция доходностей в кризисном периоде растет, то делается вывод о наличии влияния одного товара на другой. Если же она превышает установленное критическое значение, т. е. фиксируется существенный скачок корреляции, то это может свидетельствовать о наличии заражения. При этом следует отметить, что использование классических коэффициентов корреляции приводит к проблеме гетероскедастичности, т. е. к смещению оценок из-за разности волатильностей в разные пе-

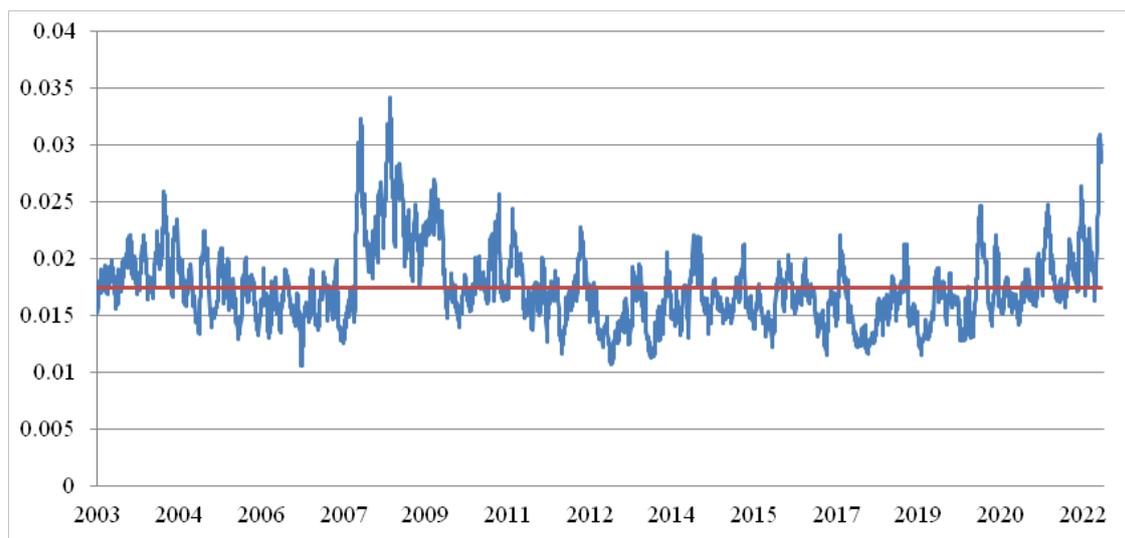


Рис. 1. Волатильность средней доходности фьючерсов на сельскохозяйственные товары
 Fig. 1. Volatility of the average returns of agricultural commodity futures

риоды (докризисный и кризисный). Поэтому для получения более точных оценок для кризисного периода целесообразно рассчитывать скорректированный коэффициент корреляции (r_k), который широко применяется в исследованиях по финансовому заражению (см., например [14; 15]):

$$r_k = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma_{y,i}^2}{\sigma_{x,i}^2} - 1\right) \cdot (1 - r_y^2)}} \cdot r_y,$$

где r_y – коэффициент корреляции доходности между товарами i и j в кризисный период y ;

$\sigma_{x,i}^2$ и $\sigma_{y,i}^2$ – дисперсия доходности товара i в докризисный и кризисный периоды соответственно.

Для проверки наличия заражения существует специальный тест (тест Форбс – Ригобона, FR -тест): если выполняется условие $r_k > r_x$, то делается вывод о возможном заражении товаром i товара j . Другими словами, заражение возможно по линии от i к j ($i \rightarrow j$), где i выступает передатчиком заражения, а j – приемником.

Формально тестовая статистика имеет вид:

$$FR(i \rightarrow j) = \frac{\ln\left(\frac{1+r_k}{1-r_k}\right) - \ln\left(\frac{1+r_x}{1-r_x}\right)}{\sqrt{\frac{1}{T_y-3} + \frac{1}{T_x-3}}},$$

где r_x – коэффициент корреляции доходности между товарами i и j в кризисный период x ;

T_x и T_y – объем выборки (количество наблюдений) в докризисном и кризисном периодах соответственно.

Отсутствие заражения (нулевая гипотеза) допускается в том случае, когда FR ниже критического значения стандартизованного параметра z при заданном уровне значимости. В расчетах мы будем использовать уровень значимости $\alpha = 0,05$, для него

критическое значение $z = 1,645$. Если $FR > z$, то нулевая гипотеза отклоняется и делается вывод о наличии заражения.

Результаты (Results)

Анализ проводился по данным котировок фьючерсов² в отношении 8 сельскохозяйственных товаров: какао, кофе, сахар, кукуруза, овес, соевое масло, соевая мука и свинина. Использовались ежедневные данные о ценах на фьючерсные контракты за продолжительный период с января 2003 г. по август 2022 г.

Для разграничения кризисных и некризисных периодов использовался критерий волатильности, т. е. кризисный период рассматривался как период повышенной волатильности. На рис. 1 представлена динамика волатильности средней доходности фьючерсных контрактов. Она получалась путем расчета скользящего стандартного отклонения доходности: 10 значений до выбранной даты, значение в дату и 10 значений после этой даты. Из рисунка видны многочисленные периоды повышенной волатильности (мы их определяем как зоны на рисунке, расположенные выше красной линии – среднего значения волатильности за весь рассмотренный период). Самый явный из них – это период мирового кризиса 2008–2009 гг. Следует также обратить внимание на период, начинающийся с 2020 г. и по конец выборки. Всплески волатильности становятся чаще и интенсивнее – синяя линия в этот период гораздо чаще оказывается выше красной линии, чем до 2020 г. Это тоже можно рассматривать как кризисный период, характеризующийся неустойчивостью на многих рынках, в том числе и на продовольственных.

² Строго говоря, рассматривался CFD (Contract For Difference) – производный финансовый инструмент, имеющий схожие характеристики с фьючерсами, но при этом отличающийся от них по некоторым параметрам. Например, цена на него определяется брокером, тогда как цены на фьючерсы определяются на биржевых торгах.

Таблица 1

Описательные статистики текущей доходности фьючерсов на сельскохозяйственные товары в докризисном и кризисном периодах

Товары	Случай 1				Случай 2			
	Докризисный период		Кризисный период		Докризисный период		Кризисный период	
	μ_s	σ_s	μ_s	σ_s	μ_s	σ_s	μ_s	σ_s
Какао	0,0010	0,0166	0,0005	0,0255	0,0006	0,0183	-0,0004	0,0188
Кофе	0,0006	0,0165	-0,0003	0,0207	-0,0004	0,0186	0,0011	0,0230
Сахар	-0,0002	0,0206	0,0012	0,0280	0,0002	0,0172	0,0003	0,0180
Кукуруза	0,0016	0,0188	-0,0006	0,0261	0,0000	0,0132	0,0008	0,0203
Овес	0,0011	0,0199	-0,0007	0,0264	0,0001	0,0193	0,0006	0,0321
Соевое масло	0,0019	0,0130	-0,0010	0,0240	-0,0002	0,0102	0,0013	0,0206
Соевая мука	0,0011	0,0153	-0,0004	0,0285	-0,0001	0,0111	0,0009	0,0186
Свинина	0,0000	0,0183	-0,0004	0,0243	-0,0004	0,0308	0,0010	0,0290

Table 1
Descriptive statistics of the current return of futures on agricultural commodities in the pre-crisis and crisis periods

Commodities	Case 1				Case 2			
	Pre-crisis period		Crisis period		Pre-crisis period		Crisis period	
	μ_s	σ_s	μ_s	σ_s	μ_s	σ_s	μ_s	σ_s
Cocoa	0.0010	0.0166	0.0005	0.0255	0.0006	0.0183	-0.0004	0.0188
Coffee	0.0006	0.0165	-0.0003	0.0207	-0.0004	0.0186	0.0011	0.0230
Sugar	-0.0002	0.0206	0.0012	0.0280	0.0002	0.0172	0.0003	0.0180
Corn	0.0016	0.0188	-0.0006	0.0261	0.0000	0.0132	0.0008	0.0203
Oats	0.0011	0.0199	-0.0007	0.0264	0.0001	0.0193	0.0006	0.0321
Soybean oil	0.0019	0.0130	-0.0010	0.0240	-0.0002	0.0102	0.0013	0.0206
Soybean meal	0.0011	0.0153	-0.0004	0.0285	-0.0001	0.0111	0.0009	0.0186
Lean hogs	0.0000	0.0183	-0.0004	0.0243	-0.0004	0.0308	0.0010	0.0290

Исходя из вышесказанного, мы для проведения теста на заражение разграничиваем периоды следующим образом. Рассматриваем два случая:

Случай 1 – заражение в 2008–2009 гг.: докризисный период x – с 3 января 2006 г. по 15 февраля 2008 г. (530 дат наблюдений), кризисный период y – с 19 февраля 2008 г. по 12 ноября 2009 г. (438 дат наблюдений).

Случай 2 – заражение в 2020–2022 гг.: докризисный период x – с 10 августа 2017 г. по 21 февраля 2020 г. (638 дат наблюдений), кризисный период y – с 24 февраля 2020 г. по 5 августа 2022 г. (619 дат наблюдений).

В таблице 1 представлены данные о средней доходности товарных фьючерсов (μ_s) и ее стандартном отклонении (σ_s) для этих двух случаев. Описательная статистика дала ожидаемый результат – рост волатильности в кризисных периодах по всем товарам при разнонаправленных колебаниях их доходности. Причем в разные кризисы товары ведут себя по-разному. Рост средней доходности в оба кризиса наблюдался у сахара и свинины, снижение в оба кризиса – у какао, снижение в первый кризис и рост во второй – у остальных товаров. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что,

хотя пики волатильности были выше в мировой кризис 2008–2009 гг., средний рост волатильности в кризисный период по сравнению с докризисным в обоих случаях был одинаков. В 2008–2009 гг. он составил 47,2 %, в 2020–2022 гг. – 47,4 %. Отметим также, что за весь период выборки (2003–2022 гг.) самая высокая средняя волатильность наблюдалась у фьючерсов на овес – это произошло за счет резких ее всплесков в период 2021–2022 гг. Наиболее доходными оказались фьючерсы на кофе.

В таблице 2 приведена корреляционная матрица доходностей по рассматриваемым товарам. В числителе каждой ячейки показаны значения коэффициента корреляции для конкретной пары в докризисном периоде, а в знаменателе – значения скорректированного на гетероскедастичность коэффициента для той же пары, но уже в кризисном периоде. В тех случаях, где знаменатель превышает числитель (выделено полужирным шрифтом), можно предположить наличие заражения. Отметим, что цифры в числителях, расположенных в строках любого квадранта, представляющего собой парную связку, такие же, что и цифры, расположенные в столбцах этого квадранта. Однако эти цифры различаются в знаменателях, поскольку значения

скорректированного коэффициента зависят от направленности рассмотрения взаимодействия, т. е. они будут различаться в зависимости от того, по какой линии предполагается заражение: $i \rightarrow j$ или $j \rightarrow i$. Например, для парной связи «какао – соевая мука» две зеркальные ячейки $\frac{0,1070}{0,0963}$ и $\frac{0,1070}{0,0963}$ означают, что в первый докризисный период коэффициент корреляции между доходностью фьючерсов на какао и соевую муку был равен 0,1070. При этом в кризис не исключена передача заражения от какао (источник) к соевой муке (реципиент), поскольку скорректированный коэффициент корреляции (знаменатель 0,1167 в первой ячейке) больше 0,1070. Однако возможность заражения исключена по линии «соевая мука → какао», т. к. в данном случае этот коэффициент (знаменатель 0,0963 во второй ячейке) меньше 0,1070.

В целом анализ результатов по данной таблице для первого случая позволяет сделать вывод о подозрениях на заражение в более чем половине рас-

сматриваемых пар. Сами корреляции незначительны, лишь отдельные пары (например, «кукуруза – овес», «кукуруза – соевое масло», «соевое масло – соевая мука») демонстрировали средний уровень взаимодействия. Еще слабее связи стали во втором случае: видимо, за прошедшие 10 лет фьючерсные рынки сельскохозяйственных товаров стали более локализованы. Кроме того, ценообразование на эти активы сегодня складывается под влиянием не только фундаментальных факторов (спроса и предложения), но и финансовых инвесторов, поведение которых может отличаться в зависимости от конкретного рынка.

Отметим также меньшее число случаев возможного заражения в период 2020–2022 гг. по сравнению с периодом 2008–2009 гг. – число выделенных ячеек в таблице 2 для случая 2 меньше, чем для случая 1. Вместе с тем совместное движение доходностей активов наблюдается во все периоды, но оно может как приводить к заражению, так и не приводить.

Таблица 2
Корреляции доходностей фьючерсов на сельскохозяйственные товары в докризисном (r_x) и кризисном (r_k) периодах

Случай 1							
Какао	<u>0,1820</u> 0,3184	<u>0,1087</u> 0,2404	<u>0,0143</u> 0,0267	<u>0,1263</u> 0,1802	<u>0,1735</u> 0,1893	0,1070 0,0963	<u>0,0161</u> 0,0210
<u>0,1820</u> 0,2653	Кофе	<u>0,1518</u> 0,3132	<u>0,0988</u> 0,3172	<u>0,1116</u> 0,2607	<u>0,1467</u> 0,2760	<u>0,1131</u> 0,1969	0,0985 0,0268
<u>0,1087</u> 0,2145		Сахар	<u>0,1461</u> 0,2612	<u>0,1025</u> 0,2388	<u>0,1662</u> 0,2410	<u>0,0993</u> 0,1441	0,0316 0,0040
<u>0,0143</u> 0,2060	Кукуруза		<u>0,1461</u> 0,2661	<u>0,4903</u> 0,5404	0,4592 0,4144	<u>0,5039</u> 0,2976	<u>0,0381</u> 0,0432
<u>0,1263</u> 0,1560		Овес	<u>0,1025</u> 0,2325	<u>0,4903</u> 0,5221	0,3683 0,3376	<u>0,4398</u> 0,1935	<u>0,0090</u> 0,0162
<u>0,1735</u> 0,2260	Соевое масло		<u>0,1662</u> 0,3194	<u>0,4592</u> 0,5183	<u>0,3683</u> 0,4477	<u>0,4541</u> 0,3310	0,0703 0,0220
<u>0,1070</u> 0,1167		Соевая мука	<u>0,0993</u> 0,1957	0,5039 0,3861	0,4398 0,2678	0,4541 0,3336	0,0467 –0,0071
<u>0,1167</u> 0,0161	Свинина		<u>0,2843</u> 0,0316	<u>0,0381</u> 0,0381	<u>0,0090</u> 0,0090	<u>0,0703</u> 0,0467	–0,0071 –0,0071
<u>0,0161</u> 0,0182		0,0285 0,0039	<u>0,0415</u> 0,0415	<u>0,0163</u> 0,0163	0,0158	–0,0051	–0,0051
Случай 2							
Какао	<u>0,0434</u> 0,1415	<u>0,0506</u> 0,1310	0,0026 –0,0213	0,0396 0,0378	<u>–0,0260</u> 0,0357	–0,0031 –0,0209	<u>–0,0106</u> –0,0062
<u>0,0434</u> 0,1698	Кофе	<u>0,2352</u> 0,2117	<u>0,1341</u> 0,1176	<u>0,0163</u> 0,0706	<u>0,1203</u> 0,0889	<u>0,1745</u> 0,0687	<u>–0,0024</u> 0,0818
<u>0,0506</u> 0,1335		Сахар	<u>0,2352</u> 0,1803	<u>0,1506</u> 0,1416	<u>0,0292</u> 0,0425	<u>0,1213</u> 0,1328	<u>0,1328</u> 0,0660
0,0026 –0,0318	Кукуруза		<u>0,1341</u> 0,2048	<u>0,1506</u> 0,1416	0,2240 0,0689	<u>0,2813</u> 0,1885	<u>0,4318</u> 0,2731
<u>0,0396</u> 0,0611		Овес	<u>0,0292</u> 0,0673	0,2240 0,0747	0,0636 0,0292	<u>0,1008</u> 0,0464	<u>0,0269</u> 0,0214
<u>–0,0260</u> 0,0702	Соевое масло		<u>0,1203</u> 0,2503	0,2813 0,2416	0,0636 0,0355	<u>0,1344</u> 0,0669	<u>–0,0018</u> 0,0783
<u>0,0702</u> –0,0031		Соевая мука	<u>0,1443</u> 0,1328	0,2416 0,4318	0,0355 0,1008	<u>0,1344</u> 0,1344	<u>0,0265</u> 0,0265
–0,0031 –0,0340	Свинина		<u>0,1745</u> 0,1052	<u>0,4318</u> 0,2962	<u>0,1008</u> 0,0467	<u>0,1344</u> 0,0555	<u>0,0265</u> 0,0265
<u>–0,0106</u> –0,0057		<u>–0,0024</u> 0,0624	<u>0,0551</u> 0,0263	<u>0,1084</u> 0,0438	<u>0,0269</u> 0,0122	<u>–0,0018</u> 0,0366	<u>0,0265</u> –0,0015

Table 2

Correlations of returns on agricultural commodity futures in the pre-crisis (r_x) and crisis (r_k) periods

Case 1							
Cocoa	<u>0.1820</u>	<u>0.1087</u>	<u>0.0143</u>	<u>0.1263</u>	<u>0.1735</u>	<u>0.1070</u>	<u>0.0161</u>
	<u>0.3184</u>	<u>0.2404</u>	<u>0.0267</u>	<u>0.1802</u>	<u>0.1893</u>	<u>0.0963</u>	<u>0.0210</u>
<u>0.1820</u>	Coffee	<u>0.1518</u>	<u>0.0988</u>	<u>0.1116</u>	<u>0.1467</u>	<u>0.1131</u>	<u>0.0985</u>
<u>0.2653</u>		<u>0.3132</u>	<u>0.3172</u>	<u>0.2607</u>	<u>0.2760</u>	<u>0.1969</u>	<u>0.0268</u>
<u>0.1087</u>	<u>0.1518</u>	Sugar	<u>0.1461</u>	<u>0.1025</u>	<u>0.1662</u>	<u>0.0993</u>	<u>0.0316</u>
<u>0.2145</u>	<u>0.3362</u>		<u>0.2612</u>	<u>0.2388</u>	<u>0.2410</u>	<u>0.1441</u>	<u>0.0040</u>
<u>0.0143</u>	<u>0.0988</u>	<u>0.1461</u>	Corn	<u>0.4903</u>	<u>0.4592</u>	<u>0.5039</u>	<u>0.0381</u>
<u>0.2060</u>	<u>0.3464</u>	<u>0.2661</u>		<u>0.5404</u>	<u>0.4144</u>	<u>0.2976</u>	<u>0.0432</u>
<u>0.1263</u>	<u>0.1116</u>	<u>0.1025</u>	<u>0.4903</u>	Oats	<u>0.3683</u>	<u>0.4398</u>	<u>0.0090</u>
<u>0.1560</u>	<u>0.2733</u>	<u>0.2325</u>	<u>0.5221</u>		<u>0.3376</u>	<u>0.1935</u>	<u>0.0162</u>
<u>0.1735</u>	<u>0.1467</u>	<u>0.1662</u>	<u>0.4592</u>	Soybean oil	<u>0.4541</u>	<u>0.4541</u>	<u>0.0703</u>
<u>0.2260</u>	<u>0.3887</u>	<u>0.3194</u>	<u>0.5183</u>		<u>0.4477</u>	<u>0.3310</u>	<u>0.0220</u>
<u>0.1070</u>	<u>0.1131</u>	<u>0.0993</u>	<u>0.5039</u>	<u>0.4398</u>	<u>0.4541</u>	Soybean meal	<u>0.0467</u>
<u>0.1167</u>	<u>0.2843</u>	<u>0.1957</u>	<u>0.3861</u>	<u>0.2678</u>	<u>0.3336</u>		-0.0071
<u>0.0161</u>	<u>0.0985</u>	<u>0.0316</u>	<u>0.0381</u>	<u>0.0090</u>	<u>0.0703</u>	<u>0.0467</u>	Lean hogs
<u>0.0182</u>	<u>0.0285</u>	<u>0.0039</u>	<u>0.0415</u>	<u>0.0163</u>	<u>0.0158</u>	-0.0051	
Case 2							
Cocoa	<u>0.0434</u>	<u>0.0506</u>	<u>0.0026</u>	<u>0.0396</u>	<u>-0.0260</u>	<u>-0.0031</u>	<u>-0.0106</u>
	<u>0.1415</u>	<u>0.1310</u>	-0.0213	<u>0.0378</u>	<u>0.0357</u>	-0.0209	<u>-0.0062</u>
<u>0.0434</u>	Coffee	<u>0.2352</u>	<u>0.1341</u>	<u>0.0163</u>	<u>0.1203</u>	<u>0.1745</u>	<u>-0.0024</u>
<u>0.1698</u>		<u>0.2117</u>	<u>0.1176</u>	<u>0.0706</u>	<u>0.0889</u>	<u>0.0687</u>	<u>0.0818</u>
<u>0.0506</u>	<u>0.2352</u>	Sugar	<u>0.1506</u>	<u>0.0292</u>	<u>0.1213</u>	<u>0.1328</u>	<u>0.0551</u>
<u>0.1335</u>	<u>0.1803</u>		<u>0.1416</u>	<u>0.0425</u>	<u>0.1328</u>	<u>0.0660</u>	<u>0.0292</u>
<u>0.0026</u>	<u>0.1341</u>	<u>0.1506</u>	Corn	<u>0.2240</u>	<u>0.2813</u>	<u>0.4318</u>	<u>0.1084</u>
-0.0318	<u>0.1451</u>	<u>0.2048</u>		<u>0.0689</u>	<u>0.1885</u>	<u>0.2731</u>	<u>0.0711</u>
<u>0.0396</u>	<u>0.0163</u>	<u>0.0292</u>	<u>0.2240</u>	Oats	<u>0.0636</u>	<u>0.1008</u>	<u>0.0269</u>
<u>0.0611</u>	<u>0.0946</u>	<u>0.0673</u>	<u>0.0747</u>		<u>0.0292</u>	<u>0.0464</u>	<u>0.0214</u>
<u>-0.0260</u>	<u>0.1203</u>	<u>0.1213</u>	<u>0.2813</u>	<u>0.0636</u>	Soybean oil	<u>0.1344</u>	<u>-0.0018</u>
<u>0.0702</u>	<u>0.1443</u>	<u>0.2503</u>	<u>0.2416</u>	<u>0.0355</u>		<u>0.0669</u>	<u>0.0783</u>
-0.0031	<u>0.1745</u>	<u>0.1328</u>	<u>0.4318</u>	<u>0.1008</u>	Soybean meal	<u>0.1344</u>	<u>0.0265</u>
-0.0340	<u>0.0927</u>	<u>0.1052</u>	<u>0.2962</u>	<u>0.0467</u>		<u>0.0555</u>	-0.0027
<u>-0.0106</u>	<u>-0.0024</u>	<u>0.0551</u>	<u>0.1084</u>	<u>0.0269</u>	<u>-0.0018</u>	<u>0.0265</u>	Lean hogs
<u>-0.0057</u>	<u>0.0624</u>	<u>0.0263</u>	<u>0.0438</u>	<u>0.0122</u>	<u>0.0366</u>	-0.0015	

Для того чтобы окончательно убедиться в наличии или отсутствии заражения необходимо реализовать тестовую статистику Форбс – Ригобона. Повторим, что заражение возникает, когда есть не просто усиление корреляции, а ее скачки или так называемое «чрезмерное совместное движение», которое можно зафиксировать эконометрическими методами [16; 17]. Результаты тестовой статистики в виде выводов о заражении представлены в таблице 3³. Выводы из этой таблицы можно сделать в отношении наличия и направленности заражения. Сформулируем эти выводы для двух кризисов.

Случай 1. Подозрения на заражения подтвердились в 29 случаях из 39 возможных. Основными источниками и реципиентами заражения выступили фьючерсы на какао, кофе и сахар. Абсолютно не заразными и как приемник, и как передатчик оказались фьючерсы на свинину. Практически во всех

случаях мы фиксируем двунаправленность передачи. Однонаправленность есть только в следующих связках: «какао → соевое масло», «кофе → соевое масло», «кофе → соевая мука», «сахар → соевая мука», «овес → кукуруза», «кукуруза → соевое масло». Это означает, что соевое масло выступает главным образом как реципиент заражения, а не как его источник.

Случай 2. В кризис 2020–2022 гг. продовольственные рынки оказались более устойчивыми к шоковым воздействиям, чем в кризис 2008–2009 гг. – тестовая статистика зафиксировала лишь 13 случаев из 22 подозрений. Какао, кофе и сахар также остались в лидерах рейтинга, но уже с меньшей частотой. Фьючерсы на свинину в этот кризис стали в некоторых связках заразными, а абсолютно не заразными оказались фьючерсы на соевую муку. Двунаправленность передачи наблюдается в связках «какао ↔ кофе», «какао ↔ сахар», «какао ↔ соевое масло», «кофе ↔ овес», «кофе ↔ свинина», однонаправленность – в связках «сахар → кукуруза», «сахар → соевое масло», «свинина → соевое масло».

³ Мы сознательно не стали приводить численные оценки по самому тесту, а ограничились только качественными оценками по принципу «да/нет», т. к. в таблице 2 уже приведены количественные оценки по корреляциям.

Таблица 3

Результаты теста Форбс – Ригобона на наличие (да) или отсутствие (нет) финансового заражения между сельскохозяйственными товарами

Экономика

Случай 1							
Какао	Да	Да	Да	Да	Нет	Нет	Нет
Да	Кофе	Да	Да	Да	Да	Да	Нет
Да	Да	Сахар	Да	Да	Да	Нет	Нет
Да	Да	Да	Кукуруза	Да	Нет	Нет	Нет
Да	Да	Да	Нет	Овес	Нет	Нет	Нет
Да	Да	Да	Да	Да	Соевое масло	Нет	Нет
Нет	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Соевая мука	Нет
Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Свинина
Случай 2							
Какао	Да	Да	Нет	Нет	Да	Нет	Нет
Да	Кофе	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Да
Да	Нет	Сахар	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Нет	Нет	Да	Кукуруза	Нет	Нет	Нет	Нет
Нет	Да	Нет	Нет	Овес	Нет	Нет	Нет
Да	Нет	Да	Нет	Нет	Соевое масло	Нет	Да
Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Соевая мука	Нет
Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Свинина

Table 3
Forbes – Rigobon test results for the presence (yes) or absence (no) of financial contagion between agricultural commodities

Case 1							
Cocoa	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	No
Yes	Coffee	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Да	Да	Sugar	Yes	Yes	Yes	No	No
Yes	Yes	Yes	Corn	Да	No	No	No
Yes	Yes	Yes	No	Oats	No	No	No
Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Soybean oil	No	No
No	Yes	Yes	No	No	No	Soybean meal	No
No	No	No	No	No	No	No	Lean hogs
Case 2							
Cocoa	Yes	Yes	No	No	Yes	No	No
Yes	Coffee	No	No	Yes	No	No	Yes
Yes	No	Sugar	No	No	No	No	No
No	No	Yes	Corn	No	No	No	No
No	Yes	No	No	Oats	No	No	No
Yes	No	Yes	No	No	Soybean oil	No	Yes
No	No	No	No	No	No	Soybean meal	No
No	Yes	No	No	No	No	No	Lean hogs

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, проведенное исследование позволило выявить наличие и направленность финансового заражения на фьючерсных рынках ряда сельскохозяйственных товаров в периоды повышенной волатильности этих рынков. Рассматривались ежедневные котировки фьючерсов на какао,

кофе, сахар, кукурузу, овес, соевое масло, соевую муку и свинину в период 2003–2022 гг. Для оценивания заражения использовались инструменты корреляционного анализа – рассчитывались не стандартные, а скорректированные на гетероскедастичность коэффициенты корреляции, а также тестовая статистика Форбс – Ригобона.

Результаты показали, что с позиции трансмиссии шоков на продовольственные рынки кризис 2020–2022 гг. привел к гораздо меньшим масштабам заражения, чем мировой финансовый кризис 2008–2009 гг. Подозрения на заражения в период 2008–2009 гг. были зафиксированы в 69,6 % случаев, а доля подтвержденных тестовой статистикой случаев оказалась равной 51,8 %. В период 2020–2022 гг. эта доля снизилась до 23,2 %. Анализ взаимодействий в парных товарных связках позволил сделать вывод о преобладании двунаправленности заражения. Кроме того, какао, кофе и сахар чаще всего выступают источниками и реципиентами за-

ражения, соевая мука и свинина, наоборот, демонстрируют минимальную к нему восприимчивость. Отметим, что наши выводы отличаются от выводов схожего исследования – в нем самым заразным товаром назван овес, а самым незаразным – кофе [13].

В целом мы констатируем надежность и прозрачность использованного метода выявления заражения. Однако он не позволяет оценивать силу заражения, выявлять причинно-следственные связи и лаговые взаимодействия. Для этого требуется реализация более сложных динамических моделей, способных дать адекватные оценки масштабам финансового заражения на сельскохозяйственных рынках.

Библиографический список

1. Gardebroeck C., Hernandez M. A., Robles M. Market interdependence and volatility transmission among major crops // *Agricultural Economics*. 2016. Vol. 47 (2). Pp. 141–155. DOI: 10.1111/agec.12184.
2. Adhikari R., Putnam K.J. Comovement in the commodity futures markets: An analysis of the energy, grains, and livestock sectors // *Journal of Commodity Markets*. 2019. Vol. 18. Pp. 1–13. DOI: 10.1016/j.jcomm.2019.04.002.
3. Cai G., Zhang H., Chen Z. Comovement between commodity sectors // *Physica A*. 2019. Vol. 525. Pp. 1247–1258. DOI: 10.1016/j.physa.2019.04.116.
4. Seth N., Panda L. Financial contagion: Review of empirical literature // *Qualitative Research in Financial Market*. 2018. Vol. 10 (1). Pp. 15–70. DOI: 10.1108/QRFM-06-2017-0056.
5. Пивницкая Н. А., Теплова Т. В. Суверенные кредитные рейтинги и эффекты заражения на финансовых рынках Азиатского региона // *Вестник Московского университета*. 2020. Серия 6. Экономика. № 6. С. 48–69. DOI: 10.38050/01300105202063.
6. Малкина М. Ю., Овчаров А. О. Финансовое заражение российских компаний от рынка нефти под воздействием санкционного и пандемического шока // *Финансовый журнал*. 2022. Т. 14 (4). С. 8–28. DOI: 10.31107/2075-1990-2022-4-8-28.
7. BenMim I., BenSaïda A. Financial contagion across major stock markets: A study during crisis episodes // *The North American Journal of Economics and Finance*. 2019. Vol. 48. Pp. 187–201. DOI: 10.1016/j.najef.2019.02.005.
8. Ye W., Jiang K., Liu X. Financial contagion and the TIR-MIDAS model // *Finance Research Letters*. 2021. Vol. 39. 101589. DOI: 10.1016/j.frl.2020.101589.
9. Luo C., Liu L., Wang D. Multiscale financial risk contagion between international stock markets: Evidence from EMD-copula-CoVaR analysis // *The North American Journal of Economics and Finance*. 2021. Vol. 58. Article number 101512. DOI: 10.1016/j.najef.2021.101512.
10. Gunay S. A new form of financial contagion: COVID-19 and stock market responses [e-resource] // *SSRN Electronic Journal*. 2020. Vol. 4. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3584243 (date of reference: 10.08.2022). DOI: 10.2139/ssrn.3584243.
11. Benkraiem R., Garfatta R., Lakhel F., Zorgati I. Financial contagion intensity during the COVID-19 outbreak: A copula approach // *International Review of Financial Analysis*. 2022. Vol. 81. Article number 102136. DOI: 10.1016/j.irfa.2022.102136.
12. Wang X., Liu H., Huang S., Lucey B. Identifying the multiscale financial contagion in precious metal markets // *International Review of Financial Analysis*. 2019. Vol. 63. Pp. 209–219. DOI: 10.1016/j.irfa.2019.04.003.
13. Chalid D. A., Handika R. Comovement and contagion in commodity markets // *Cogent Economics & Finance*. 2022. Vol. 10 (1). Article number 2064079. DOI: 10.1080/23322039.2022.2064079.
14. Da Gama Silva P. V. J., Klotzle M. C., Pinto A. C. F., Gomes L. L. Herding behavior and contagion in the cryptocurrency market // *Journal of Behavioral and Experimental Finance*. 2019. Vol. 22. Pp. 41–50. DOI: 10.1016/j.jbef.2019.01.006.
15. Hassan K., Hoque A., Gasbarro D., Wong W. K. Are Islamic stocks immune from financial crises? Evidence from contagion tests [e-resource] // *International Review of Economics & Finance*. 2020. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1059056020301738> (date of reference: 10.08.2022). DOI: 10.1016/j.iref.2020.08.004.
16. Park C. Y., Shin K. Contagion through national and regional exposures to foreign banks during the Global Financial Crisis // *Journal of Financial Stability*. 2020. Vol. 46. Article number 100721. DOI: 10.1016/j.jfs.2019.100721.

17. Iwanicz-Drozdowska M., Rogowicz K., Kurowski Ł., Smaga P. Two decades of contagion effect on stock markets: Which events are more contagious? // Journal of Financial Stability. 2021. Vol. 55. Article number 100907. DOI: 10.1016/j.jfs.2021.100907.

Об авторе:

Антон Олегович Овчаров¹, доктор экономических наук, профессор кафедры бухгалтерского учета, главный научный сотрудник Центра макро- и микроэкономики, ORCID 0000-0003-4921-7780, AuthorID 398901; +7 905 665-25-85, anton19742006@yandex.ru

¹Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

Estimation of financial contagion in agricultural commodity futures markets using correlation analysis

A. O. Ovcharov¹✉

¹Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

✉E-mail: anton19742006@yandex.ru

Abstract. In the context of financial instability affecting all sectors of the modern economy, an important direction is the study of the effects of contagion – the transmission of instability through different channels between countries, industries and individual economic assets. The **purpose** of the article was to analyze the comovement of prices for agricultural goods through the study of the relationships of profitability of commodity futures and to obtain on this basis estimates of the scale and direction of financial contagion in food markets. **Methods.** Advanced methods of correlation analysis were used in the article: correlation coefficients adjusted for heteroscedasticity were determined; the hypothesis of the presence of infection was tested using Forbes – Rigobon test statistics. In addition, based on the calculation of the volatility of commodity futures using the rolling standard deviation method, the time periods necessary to detect infection were distinguished. **Scientific novelty.** For the first time in Russian practice, an analysis of the effects of financial contagion on the agricultural sector was carried out; quantitative estimates of the scale and direction of infection spreading through internal channels of exchange trade in food products were obtained. **Results.** A study of the dynamics of prices for some futures for 2003–2022 made it possible to identify periods of increased volatility of commodity markets. It took the highest values in 2008–2009 and 2020–2022 – during these periods, volatility shocks led to the spread of contagion in the futures markets of agricultural commodities. However, the scale of infection was uneven. In the crisis of 2008–2009, 51.8 % of cases of infection were detected, while in 2020–2022 this share was 23.2 %. As for the transmission of infection in paired bundles of the type “commodity-source → commodity-recipient”, most often the sources and recipients were cocoa, coffee and sugar, the least often – soybean meal and lean hogs. In addition, the analysis of paired correlations made it possible to conclude that the predominance of bidirectional contagion.

Keywords: financial contagion, futures, agricultural commodities, correlation, volatility, heteroscedasticity, tests, crises.

For citation: Ovcharov A. O. Otsenka finansovogo zarazheniya na f'yuchersnykh rynkakh sel'skokhozyaystvennykh tovarov s pomoshch'yu korrelyatsionnogo analiza [Estimation of financial contagion in agricultural commodity futures markets using correlation analysis] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. Special issue “Economy”. Pp. 60–69. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-228-13-60-69. (In Russian.)

Date of paper submission: 12.08.2022, **date of review:** 25.08.2022, **date of acceptance:** 05.09.2022.

References

1. Gardebroeck C., Hernandez M. A., Robles M. Market interdependence and volatility transmission among major crops // Agricultural Economics. 2016. Vol. 47 (2). Pp. 141–155. DOI: 10.1111/agec.12184.
2. Adhikari R., Putnam K.J. Comovement in the commodity futures markets: An analysis of the energy, grains, and livestock sectors // Journal of Commodity Markets. 2019. Vol. 18. Pp. 1–13. DOI: 10.1016/j.jcomm.2019.04.002.
3. Cai G., Zhang H., Chen Z. Comovement between commodity sectors // Physica A. 2019. Vol. 525. Pp. 1247–1258. DOI: 10.1016/j.physa.2019.04.116.

4. Seth N., Panda L. Financial contagion: Review of empirical literature // *Qualitative Research in Financial Market*. 2018. Vol. 10 (1). Pp. 15–70. DOI: 10.1108/QRFM-06-2017-0056.
5. Pivnitskaya N. A., Teplova T. V. Suverennyye kreditnyye reytingi i efekty zarazheniya na finansovykh rynkakh Aziatskogo regiona [Sovereign credit ratings and infection effects on the financial markets of the Asian region] // *Moscow University Economic Bulletin*. 2020. No. 6. Pp. 48–69. DOI: 10.38050/01300105202063. (In Russian.)
6. Malkina M. Yu., Ovcharov A. O. Finansovoye zarazheniye rossiyskikh kompaniy ot rynka nefti pod vozdeystviyem sanktsionnogo i pandemicheskogo shoka [Financial contagion of Russian companies from the oil market under the influence of sanctions and pandemic shock] // *Financial Journal*. 2022. Vol. 14 (4). Pp. 8–28. DOI: 10.31107/2075-1990-2022-4-8-28. (In Russian.)
7. BenMim I., BenSaïda A. Financial contagion across major stock markets: A study during crisis episodes // *The North American Journal of Economics and Finance*. 2019. Vol. 48. Pp. 187–201. DOI: 10.1016/j.najef.2019.02.005.
8. Ye W., Jiang K., Liu X. Financial contagion and the TIR-MIDAS model // *Finance Research Letters*. 2021. Vol. 39. 101589. DOI: 10.1016/j.frl.2020.101589.
9. Luo C., Liu L., Wang D. Multiscale financial risk contagion between international stock markets: Evidence from EMD-copula-CoVaR analysis // *The North American Journal of Economics and Finance*. 2021. Vol. 58. Article number 101512. DOI: 10.1016/j.najef.2021.101512.
10. Gunay S. A new form of financial contagion: COVID-19 and stock market responses [e-resource] // *SSRN Electronic Journal*. 2020. Vol. 4. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3584243 (date of reference: 10.08.2022). DOI: 10.2139/ssrn.3584243.
11. Benkraiem R., Garfatta R., Lakhel F., Zorgati I. Financial contagion intensity during the COVID-19 outbreak: A copula approach // *International Review of Financial Analysis*. 2022. Vol. 81. Article number 102136. DOI: 10.1016/j.irfa.2022.102136.
12. Wang X., Liu H., Huang S., Lucey B. Identifying the multiscale financial contagion in precious metal markets // *International Review of Financial Analysis*. 2019. Vol. 63. Pp. 209–219 DOI: 10.1016/j.irfa.2019.04.003.
13. Chalid D. A., Handika R. Comovement and contagion in commodity markets // *Cogent Economics & Finance*. 2022. Vol. 10 (1). Article number 2064079. DOI: 10.1080/23322039.2022.2064079.
14. Da Gama Silva P. V. J., Klotzle M. C., Pinto A. C. F., Gomes L. L. Herding behavior and contagion in the cryptocurrency market // *Journal of Behavioral and Experimental Finance*. 2019. Vol. 22. Pp. 41–50. DOI: 10.1016/j.jbef.2019.01.006.
15. Hassan K., Hoque A., Gasbarro D., Wong W. K. Are Islamic stocks immune from financial crises? Evidence from contagion tests [e-resource] // *International Review of Economics & Finance*. 2020. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1059056020301738> (date of reference: 10.08.2022). DOI: 10.1016/j.iref.2020.08.004.
16. Park C. Y., Shin K. Contagion through national and regional exposures to foreign banks during the Global Financial Crisis // *Journal of Financial Stability*. 2020. Vol. 46. Article number 100721. DOI: 10.1016/j.jfs.2019.100721.
17. Iwanicz-Drozdowska M., Rogowicz K., Kurowski Ł., Smaga P. Two decades of contagion effect on stock markets: Which events are more contagious? // *Journal of Financial Stability*. 2021. Vol. 55. Article number 100907. DOI: 10.1016/j.jfs.2021.100907.

Author's information:

Anton O. Ovcharov¹, doctor of economic sciences, professor of the department of accounting, senior research fellow of the center for macro and microeconomics, ORCID 0000-0003-4921-7780, AuthorID 398901; +7 905 665-25-85, anton19742006@yandex.ru

¹Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia