



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. 2024. Т. 24, вып. 1. С. 37–51
Izvestiya of Saratov University. Economics. Management. Law, 2024, vol. 24, iss. 1, pp. 37–51
<https://eup.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1994-2540-2024-24-1-37-51>, EDN: ADMIGC

Научная статья
УДК 338.2

Факторный анализ рынка металлов платиновой группы и моделирование направлений его развития



И. А. Степанов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, 115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31

Степанов Илья Алексеевич, аспирант кафедры финансового менеджмента, stepanovilya13@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8507-5401>

Аннотация. Введение. В первой части работы раскрываются понятие и особенности металлов платиновой группы. По совокупности рассматриваемых параметров каждого из металлов группы, среди которых объем рынка в натуральном и стоимостном выражении, выделено три основных (палладий, платина, родий) и два минорных (иридий, рутений) металла. Рынки пяти металлов платиновой группы определены в качестве объекта для факторного анализа данного исследования. **Теоретический анализ.** Для рынка металлов платиновой группы приводится систематизация факторов, данные разнесены на две группы: факторы предложения и факторы спроса. Проанализированы первичные и вторичные источники металлов, по каждому металлу проведен обзор основных отраслей применения. Все большее влияние на цены в последние годы оказывает вторичная переработка, обеспечивающая около 30% совокупного предложения платины и палладия. **Эмпирический анализ.** На основе исторических данных построены корреляционные матрицы связи фундаментальных факторов между собой и с ценой металла. С учетом выявленных корреляционных зависимостей составлены регрессионные модели, которые с определенной степенью точности позволяют спрогнозировать ценовую динамику. Выявлено, что цена на родий, рутений и иридий трудно прогнозируема, модели имеют высокую ошибку ввиду недостаточности рыночных данных. **Результаты.** Осуществляя факторный анализ рынка металлов платиновой группы, помимо установленных зависимостей и количественных оценок фундаментальных показателей, сформулированы краткие выводы о тенденциях рынка. Отмечено, что на цену металлов платиновой группы может оказывать влияние множество других неожиданных и малопрогнозируемых событий. Таким образом, рынки металлов платиновой группы подвержены так называемым «черным» и «белым» лебедям, которые приводят к ценовым пузырям или, напротив, резкому падению цен на металлы.

Ключевые слова: факторный анализ, моделирование, рынок, металлы платиновой группы, палладий, родий, иридий, рутений

Для цитирования: Степанов И. А. Факторный анализ рынка металлов платиновой группы и моделирование направлений его развития // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. 2024. Т. 24, вып. 1. С. 37–51. <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2024-24-1-37-51>, EDN: ADMIGC

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Platinum group metals market factor analysis and modeling of its development directions

I. A. Stepanov

National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), 31 Kashirskoe shosse, Moscow 115409, Russia

Ilya A. Stepanov, stepanovilya13@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8507-5401>

Abstract. Introduction. The first part of the paper reveals the concept and features of platinum group metals. According to the complex of considered parameters of each platinum group metals, including the market volume in physical and value terms, we distinguish three major (palladium, platinum, rhodium) and two minor (iridium, ruthenium) metals. For this research, the markets of five platinum group metals are identified as the object for factor analysis. **Theoretical analysis.** The platinum group metals market is systematized into two groups: supply factors and demand factors. It also analyzes primary and secondary sources of metals, and provides an overview of key application industries for each metal. **Empirical analysis.** Based on historical data, we compiled correlation matrices of fundamental factors interrelation between each other and with metal prices. Taking into account the identified correlation dependencies, regression models were developed, which, with a certain degree of accuracy, enable to forecast price dynamics. **Results.** Carrying out a factor analysis, in addition to stated dependencies and fundamental indicators quantitative assessments, we have summarized platinum group metals market trends.

Keywords: factor analysis, market modeling, platinum group metals, palladium, rhodium, iridium, ruthenium

For citation: Stepanov I. A. Platinum group metals market factor analysis and modeling of its development directions. *Izvestiya of Saratov University. Economics. Management. Law*, 2024, vol. 24, iss. 1, pp. 37–51 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2024-24-1-37-51>, EDN: ADMIGC

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)



Введение

С интенсификацией изменений в мировой экономике в последние десятилетия возрастает актуальность исследования фундаментальных факторов, оказывающих влияние на рынок металлов платиновой группы. Под металлами платиновой группы (МПГ) совокупно понимают шесть переходных металлических элементов: платину, палладий, родий, иридий, рутений и осмий [1]. Все шесть металлов обычно объединяют в группу по причине схожих физико-химических свойств, а также особенностей коллективного залегания в месторождениях, что обуславливает общий технологический процесс добычи и производства. Металлы платиновой группы являются благородными и драгоценными металлами, физико-химические характеристики позволяют их вторичное использование

путем практически полного извлечения из бывших в употреблении изделий, ломов и отходов, содержащих нужные элементы. Инвестиционное применение металлов платиновой группы не является основным, поэтому их относят к промышленным металлам, основной спрос на которые формируется за счет использования в отраслях [2].

Обладая важными общими характеристиками, каждый металл группы имеет ряд особенностей, обуславливающих его преимущественное распространение и применимость в конкретных отраслях промышленности. Механизмы ценообразования и торговли металлами также действуют независимо друг от друга. В табл. 1 приведена рыночная информация о среднегодовых ценах и объемах рынка в натуральном и стоимостном выражении по пяти металлам платиновой группы за 2022 г.

Таблица 1 / Table 1

Объем рынка и среднегодовые цены металлов платиновой группы в 2022 г.

Market volume and average annual prices of platinum group metals in 2022

Металл	Объем рынка, тыс. Тр. унций	Среднегодовая цена, \$/Тр. унция	Объем рынка, млн долл. США
Платина	6258	961,2	6015,4
Палладий	9937	2109,5	20 962,1
Родий	998	14 310,0	14 281,4
Иридий	219	4463,8	977,6
Рутений	1023	551,7	564,3
Итого	18 435	–	42 800,83

Рассчитано по: [3] / Calculated to: [3].

Из данных табл. 1 видно, что общий объем рынка металлов платиновой группы в 2022 г. составил 42,8 млрд долл. США [3]. На рынок палладия пришлось чуть меньше половины всего рынка МПГ. Рынок родия хоть и сильно уступает рынкам платины и палладия в натуральном объеме, но в связи с бурным ростом котировок в последние годы его доля в стоимостном выражении составила 33,4% [4]. Рынок платины замыкает тройку лидеров на рынке МПГ с долей 14,1%. На эти три металла приходится более 95,0% всего рынка металлов платиновой группы.

На рис. 1 приведена пузырьковая диаграмма, отражающая объем рынка каждого из пяти металлов платиновой группы в стоимостном выражении.

Два из пяти металлов (платина и палладий), расположенные ближе к правой нижней части системы координат, получили наиболее широкое

распространение, для их торговли функционирует развитая биржевая инфраструктура, аналогичная золоту [5]. Такое распространение обусловлено в том числе высокой ликвидностью металлов на рынке. Родий, иридий и рутений сопутствуют при извлечении платины и палладия, но их содержание в сотни и тысячи раз ниже основного компонента, из-за чего рынок родия обладает ограниченной ликвидностью, а рынки иридия и рутения низколиквидны и имеют нишевый характер [1]. Осмий не включен в исследование, поскольку ежегодное мировое производство осмия составляет не более 100–200 кг, а его рынок можно считать не сформированным по причине отсутствия стабильного спроса и предложения, а также крайне низкого объема в стоимостном выражении, которым обычно пренебрегают [6].

Таким образом, для целей моделирования и прогнозирования направлений ценовой дина-

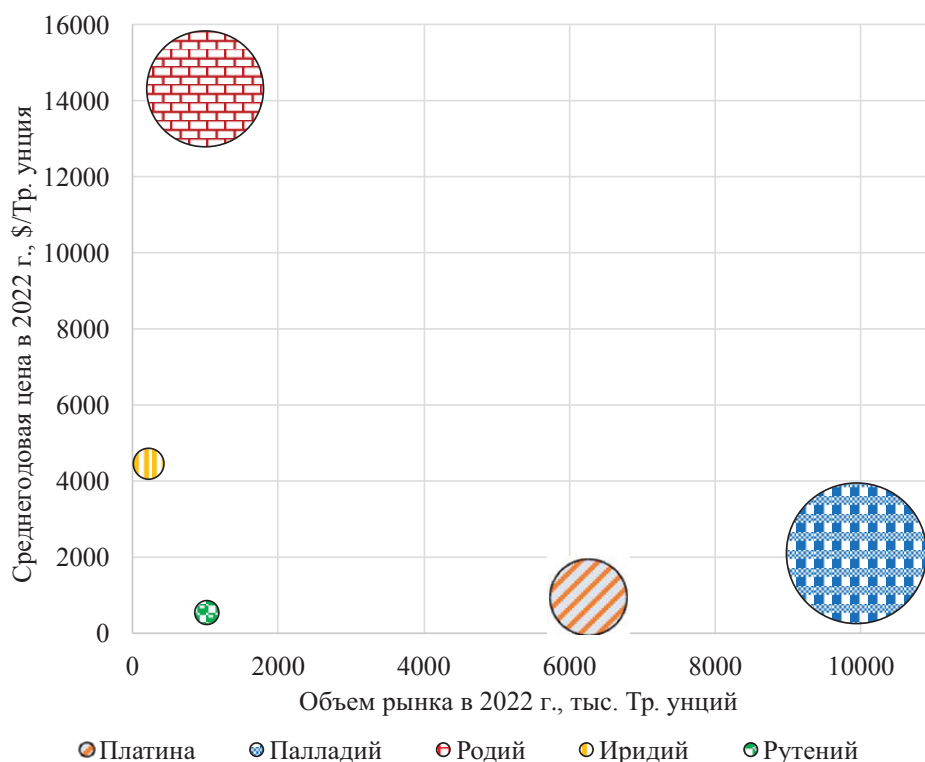


Рис. 1. Объем рынка и среднегодовые цены металлов платиновой группы в 2022 г. (цвет онлайн)

Fig. 1. Market volume and average annual prices of platinum group metals in 2022 (color online)

мики каждого из металлов платиновой группы в исследовании далее проводится анализ факторов со стороны спроса, во многом отражающих состояние и тенденции развития отраслей применения, а также факторов, определяющих динамику первичного и вторичного предложения.

Теоретический анализ

Факторный анализ рынка металлов платиновой группы во многом сводится к исследованию количественных показателей со стороны предложения и спроса каждого из металлов. Результирующим показателем при анализе выступает цена на конкретный металл.

К основным факторам со стороны предложения можно отнести:

- информацию о планируемом ежемесячном, квартальном, годовом производстве МПГ по горно-металлургическим добывающим компаниям или странам;
- новости об открытии новых проектов, месторождений или, наоборот, закрытии отрабатанных рудников;
- данные по объемам поступающего для вторичного использования лома и отходов, содержащих МПГ, из отраслей промышленности.

На предложение также оказывают влияние аварии и чрезвычайные ситуации на различных участках от добычи до производства, планы по реализации участниками рынка накопленных запасов, погодные условия, забастовки рабочих и другие причины ограничений [4].

Среди факторов, влияющих на цены металлов платиновой группы, со стороны спроса можно выделить:

- данные об экономической активности отраслей использования МПГ;
- информация о перспективах роста секторов применения МПГ;
- макроэкономическая ситуация в мире и отдельных регионах (динамика курсов основных валют, темп роста экономики, величина процентных ставок и пр.).

Выделив и систематизировав две основные группы источников фундаментальных факторов, следующим шагом предполагается осуществить анализ каждой группы факторов для дальнейшего исследования их количественных характеристик с целью моделирования рынка каждого МПГ.

Основными источниками первичного предложения МПГ являются ЮАР, Россия, Зимбабве, Канада и США [1]. На их добычу приходится



более 96% всего первичного предложения металлов [3]. В табл. 2 представлены данные о первичном производстве платины, палладия

и родия по странам за 2022 г. в натуральном выражении (в скобках указана доля страны в первичном предложении по каждому металлу).

Таблица 2 / Table 2

Объем первичного предложения металлов платиновой группы в 2022 г., тыс. Тр. унций и (%)
Primary supply of platinum group metals in 2022, thousand Troy ounces and (%)

Металл	ЮАР	Россия	США и Канада	Зимбабве	Другие	Итого
Платина	3965 (71,7)	600 (10,8)	266 (4,8)	488 (8,8)	211 (3,8)	5530 (100)
Палладий	2276 (36,1)	2600 (41,2)	813 (12,9)	409 (6,5)	209 (3,3)	6307 (100)
Родий	570 (82,0)	58 (8,3)	18 (2,6)	43 (6,2)	6 (0,9)	695 (100)

Рассчитано по: [3] / Calculated to: [3].

Страны Африки добывают металлы платиновой группы из месторождений малосульфидных платинометалльных руд как основной продукт, а Россия и Канада – из ликвационных месторождений медно-никелевых руд как сопутствующий продукт [6]. Объемы производства каждого из металлов группы и их соотношение между собой зависят от особенностей каждого из месторождений содержанием в рудах разрабатываемых месторождений. Стоит отметить следующую важную особенность: невозможно нарастить или сократить добычу какого-то отдельного металла группы без соответствующего увеличения или уменьшения добычного производства на месторождении по другим металлам в целом.

На территории ЮАР залегает уникальная по запасам система месторождений – Бушвельдский комплекс, который является крупнейшим в мире источником МПГ [6]. Он обеспечивает около 70–75% всей добываемой в мире платины, 35–40% палладия, а также более 80% родия, иридия и рутения. Тело комплекса состоит из нескольких горизонтов (рифов), среди которых выделяют:

- риф Меренски (22% всей добычи на комплексе);
- риф Верхняя Группа 2 (63% всей добычи на комплексе);
- Платриф (15% всей добычи на комплексе).

Ключевую разработку комплекса осуществляют такие горнодобывающие компании, как Anglo American, African Rainbow Minerals, Impala Platinum, Northam Platinum, Sibanye-Stillwater [1].

По официальным данным Министерства природных ресурсов России, на территории России 98,5% разведанных запасов МПГ прихо-

дится на три месторождения комплексных медно-никелевых руд (Октябрьское, Талнахское и Норильск-1) и одно месторождение платинометалльных малосульфидных руд (МС-Горизонт), расположенных в Норильском промышленном районе на севере Красноярского края [7]. Особенности российских месторождений заключаются в том, что около 70–80% добываемого МПГ приходится на палладий, 15–20% на платину и 5–10% на остальные металлы группы. Практически вся добыча металлов платиновой группы в России осуществляется ПАО «ГМК «Норильский никель» [7].

Месторождение в районе Грейт-Дайк в Зимбабве обладает вторыми в мире объемами запасов платины (после ЮАР) и палладия (после России) [6]. Разработкой месторождений в стране занимаются Anglo American Platinum и Impala Platinum Holdings. Однако из-за достаточно продолжительной политико-правовой нестабильности в стране очевидны проблемы с инвестициями, что сильно ограничивает текущую добычу [2]. Добыча в Зимбабве в ближайшие годы, вероятнее всего, не выйдет на уровень, способный оказывать значительное влияние на соотношение спроса и предложения металлов в мире, но важно отметить высокий ресурсный потенциал этой страны [8].

В Канаде комплексные медно-никелевые месторождения схожи по типу с российскими, поскольку в попутно извлекаемом МПГ превалирует палладий. Среди основных месторождений можно выделить бассейн Sudbury в центральном Онтарио, рудник Raglan на севере Квебека и месторождение никеля в Манитобе [6]. Разработку месторождений в Канаде выполняют Glencore, Vale и North American Palladium.



Основная добыча металлов платиновой группы в США осуществляется компанией Sibanye-Stillwater на двух рудниках: Stillwater и East Boulder, расположенных в штате Монтана [1]. Извлекаемая руда очень богата, содержание чистого компонента в руде составляет 15–20 граммов на тонну [7]. На палладий приходится 75–80% добываемого на месторождении МПГ, 15–20% – на платину.

Еще одним немаловажным источником МПГ, в первую очередь платины, палладия и родия, выступает вторичное сырье. В 2022 г. вторичное предложение платины составило 21,0% от величины суммарного предложения на рынке, палладия – 32,9%, родия – 32,7% [3].

Основными источниками вторичных металлов являются отработанные автомобильные катализаторы, электронный лом и ювелирные изделия [9], прочими источниками – отработанные катализаторы химических процессов и риформинга нефтепродуктов, а также оборудование, используемое при производстве стекла, однако статистическая информация по извлечению МПГ из данных источников практически отсутствует.

Другие важные факторы влияния на рынок металлов платиновой группы связаны с региональными и отраслевыми особенностями их применения. Основными центрами потребления палладия по регионам являются: Китай (26%), Северная Америка (22%), Европа (21%), Япония (10%). На остальной мир в среднем приходится 21%. Потребление платины сконцентрировано в Китае (30%), Европе (24%), Северной Америке (17%) и Японии (10%). На остальной мир приходится в среднем пятая часть суммарного потребления [7].

Поскольку к отличительным свойствам МПГ относят устойчивость к химическому воздействию, отличные высокотемпературные характеристики и стабильные электрические свойства, их преимущественное использование сконцентрировано в отраслях промышленности [7]. В табл. 3 представлены данные о спросе на пять металлов группы по секторам за 2022 г. в натуральном выражении (в скобках указана доля отрасли в общей структуре потребления каждого металла).

Таблица 3 / Table 3

Объем спроса на металлы платиновой группы в 2022 г., тыс. Тр. унций и (%)
Platinum group metals demand in 2022, thousand Troy ounces and (%)

Отрасль	Платина	Палладий	Родий	Иридий	Рутений
Автомобильная	2762 (40,5)	8449 (84,1)	953 (91,7)	–	–
Химическая	699 (10,2)	589 (5,9)	66 (6,4)	30 (13,7)	383 (37,4)
Стоматология и биомедицина	253 (3,7)	186 (1,9)	–	–	–
Электроника	235 (3,4)	544 (5,4)	5 (0,5)	34 (15,5)	369 (36,1)
Стекольная	594 (8,7)	–	–	–	–
Ювелирная	1 344 (19,7)	87 (0,9)	–	–	–
Нефтехимия	230 (3,4)	–	–	–	–
Электрохимия	–	–	–	91 (41,6)	131 (12,8)
Другие	706 (10,3)	191 (1,9)	15 (1,4)	64 (29,2)	140 (13,7)
Итого	6823 (100)	10 046 (100)	1039 (100)	219 (100)	1023 (100)

Рассчитано по: [3] / Calculated to: [3].



Автопром является ключевым потребителем палладия (84,1% в структуре потребления), платины (40,5%) и родия (91,7%). Сплав трех металлов применяется в каталитических нейтрализаторах выхлопной системы автомобилей. Доминирующая составляющая палладия в сплаве применяется в машинах с бензиновыми двигателями, платины – в дизельных [1]. Такая высокая доля в структуре потребления МПГ вызывает особый интерес к тенденциям развития автомобильной промышленности. Активный переход на электромобили, в которых МПГ не применяются, принято считать негативной тенденцией, формирующей определенные риски [9].

Сплавы МПГ присутствуют в низковольтных и низкоэнергетических контактах, толсто- и тонкопленочных цепях, термopарах, деталях печей, электродах. Иридий и платина применяются для выращивания монокристаллов в качестве тигельных элементов [1]. В химической промышленности из сплавов платины или палладия с добавлением родия производят каталитические сетки для частичного окисления аммиака с получением оксида азота. Получаемый оксид является сырьем для удобрений, взрывчатых веществ и азотной кислоты. МПГ также применяются как катализаторы в синтетической органической химии. Диоксид рутения используется в качестве покрытий на титановых анодах, которые необходимы для процесса производства хлора и каустика. Катализаторы на платиновой основе используются в переработке сырой нефти, риформинге и других процессах, используемых при производстве высокооктановых бензинов и ароматических соединений для нефтехимии.

Поскольку платина и палладий являются биржевыми металлами, на их спрос оказывают влияние настроения инвесторов, как институциональных, так и спекулятивных [2]. Инвестиционный спрос, в свою очередь, может зависеть от макроэкономической ситуации в мире, динамики инфляции, изменений в денежно-кредитной политике, проводимых центральными банками, и от множества других, на первый взгляд неочевидных, факторов, которые трудно включить в фундаментальный анализ.

Таким образом, в ходе систематизации и теоретического рассмотрения природы рынков каждого из пяти металлов платиновой группы определены фундаментальные факторы со стороны спроса и предложения для дальнейшего проведения количественной оценки их связи друг с другом и с ценой.

Эмпирический анализ

В рамках факторного анализа предполагается построение корреляционной матрицы для каждого металла с целью выявления связей между факторами, а также степени их взаимозависимости. Факторный анализ рынков платины, палладия и родия основан на годовых исторических данных объема первичного предложения ключевых добывающих стран, объема вторичного предложения по секторам, объема спроса по каждой отрасли применения с 1992 по 2022 г. (31 наблюдение). Данные опубликованы в обзорах рынка металлов платиновой группы, проводимых компанией Johnson Matthey и находящихся в открытом доступе.

В качестве инструментов для построения корреляционных матриц использован прикладной программный пакет для эконометрического моделирования Gretl и Microsoft Excel. Оценка полученных в матрице значений проводится по следующей шкале:

- значение коэффициента от -1,0 до -0,9 показывает очень высокую отрицательную корреляцию;
- значение коэффициента от -0,9 до -0,7 показывает высокую отрицательную корреляцию;
- значение коэффициента от -0,7 до -0,5 показывает среднюю отрицательную корреляцию;
- значение коэффициента от -0,5 до -0,2 показывает слабую отрицательную корреляцию;
- значение коэффициента от -0,2 до 0,2 говорит об отсутствии линейной зависимости между факторами;
- значение коэффициента от 0,2 до 0,5 показывает слабую положительную корреляцию;
- значение коэффициента от 0,5 до 0,7 показывает среднюю положительную корреляцию;
- значение коэффициента от 0,7 до 0,9 показывает высокую положительную корреляцию;
- значение коэффициента от 0,9 до 1,0 свидетельствует об очень высокой положительной корреляции (возможна мультиколлинеарность факторов).

Для построения корреляционной матрицы платины в исследовании рассматривались следующие факторы.

1. Производство в Южной Африке, тыс. Toz.
2. Производство в России, тыс. Toz.
3. Производство в Северной Америке, тыс. Toz.
4. Производство в Зимбабве, тыс. Toz.
5. Производство в других регионах, тыс. Toz.
6. Итого первичное производство, тыс. Toz.
7. Вторичное предложение из автопрома, тыс. Toz.



8. Вторичное предложение из электроники, тыс. Toz.
9. Вторичное предложение из ювелирной отрасли, тыс. Toz.
10. Итого вторичное предложение, тыс. Toz.
11. Сумма первичного и вторичного предложения, тыс. Toz.
12. Спрос автопрома, тыс. Toz.
13. Спрос химической отрасли, тыс. Toz.
14. Спрос отрасли стоматологии и биомедицины, тыс. Toz.
15. Спрос для электроники, тыс. Toz.
16. Спрос стекольной промышленности, тыс. Toz.
17. Инвестиционный спрос, тыс. Toz.

18. Спрос ювелирной промышленности, тыс. Toz.
19. Спрос для нефтепереработки, тыс. Toz.
20. Другой спрос, тыс. Toz.
21. Суммарный спрос, тыс. Toz.
22. Баланс рынка (профицит/дефицит), тыс. Toz.
23. Среднегодовая цена, \$/Toz.
24. Инфляция в США (CPI USD), %.
25. Цена, скорректированная на инфляцию, \$/Toz.

На рис. 2 приведена корреляционная матрица линейной зависимости 25 факторов на рынке платины между собой. Для наглядности степень корреляционной зависимости между факторами выделена цветом.

№ фактора	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	1																								
2	0,07	1																							
3	0,59	0,11	1																						
4	0,26	-0,42	0,34	1																					
5	0,07	-0,31	0,21	0,30	1																				
6	0,95	0,25	0,68	0,38	0,10	1																			
7	0,50	-0,31	0,52	0,93	0,27	0,60	1																		
8	0,06	-0,43	0,24	0,93	0,47	0,19	0,80	1																	
9	0,47	-0,29	0,38	0,81	-0,09	0,52	0,88	0,55	1																
10	0,49	-0,31	0,47	0,91	0,11	0,57	0,98	0,72	0,96	1															
11	0,45	-0,34	0,45	0,94	0,16	0,54	0,98	0,77	0,94	1,00	1														
12	0,24	0,20	0,25	-0,36	0,15	0,20	-0,23	-0,28	-0,36	-0,30	-0,32	1													
13	0,31	-0,34	0,44	0,92	0,45	0,44	0,91	0,91	0,67	0,83	0,86	-0,10	1												
14	0,53	-0,33	0,36	0,86	0,02	0,57	0,89	0,66	0,92	0,93	0,93	-0,16	0,77	1											
15	0,25	0,48	0,29	-0,41	-0,12	0,26	-0,29	-0,38	-0,38	-0,35	-0,37	0,41	-0,22	-0,31	1										
16	0,37	-0,09	0,27	0,49	0,31	0,44	0,51	0,52	0,24	0,40	0,43	0,36	0,66	0,45	0,13	1									
17	-0,13	-0,17	0,02	0,32	-0,13	-0,08	0,30	0,19	0,45	0,38	0,37	-0,46	0,14	0,28	-0,47	-0,22	1								
18	-0,07	0,33	0,09	-0,63	0,02	-0,11	-0,55	-0,46	-0,68	-0,63	-0,64	0,83	-0,35	-0,55	0,62	0,12	-0,43	1							
19	0,28	-0,17	0,39	0,68	0,18	0,38	0,70	0,64	0,56	0,66	0,67	0,15	0,71	0,67	-0,23	0,60	0,18	-0,10	1						
20	0,19	-0,14	0,52	0,62	0,62	0,33	0,62	0,78	0,22	0,46	0,50	0,09	0,81	0,33	0,02	0,58	-0,04	0,02	0,57	1					
21	0,07	0,21	0,21	-0,36	0,16	0,05	-0,27	-0,22	-0,45	-0,37	-0,37	0,95	-0,07	-0,25	0,45	0,38	-0,37	0,92	0,18	0,20	1				
22	-0,03	-0,44	-0,04	0,84	0,20	0,06	0,69	0,83	0,61	0,68	0,73	-0,68	0,69	0,61	-0,58	0,27	0,38	-0,77	0,48	0,45	-0,62	1			
23	0,57	-0,20	0,32	0,64	-0,03	0,59	0,80	0,37	0,89	0,86	0,83	-0,28	0,57	0,82	-0,30	0,26	0,29	-0,65	0,39	0,13	-0,43	0,47	1		
24	-0,02	-0,04	-0,12	-0,01	0,15	-0,03	-0,02	0,13	-0,21	-0,11	-0,09	0,49	0,17	0,01	0,16	0,53	-0,67	0,31	0,10	0,18	0,43	-0,12	-0,05	1	
25	0,58	-0,09	0,25	0,41	-0,18	0,56	0,61	0,10	0,79	0,71	0,65	-0,22	0,32	0,68	-0,24	0,10	0,27	-0,57	0,22	-0,10	-0,41	0,26	0,96	-0,10	1

Рис. 2. Корреляционная матрица для факторов рынка платины (цвет онлайн)

Fig. 2. Correlation matrix for platinum market factors (color online)

Основное внимание следует обратить на корреляцию факторов со среднегодовой ценой на платину с учетом (№ 25) и без учета (№ 23) инфляции. Из матрицы следует, что корректировка на инфляцию не усиливает корреляционную зависимость между факторами, поэтому для дальнейшего построения регрессионной модели в качестве зависимой переменной будет использована цена без учета инфляции (№ 23). Положительная зависимость цены от факторов предложения (№ 1, 4), в особенности вторичного (№ 7, 9), можно объяснить стремлением добывающих компаний и

переработчиков вторичного сырья поставить на рынок большее количество платины. Данная гипотеза частично подтверждается слабой положительной корреляцией факторов предложения и балансом рынка (№ 22).

Для построения корреляционной матрицы палладия отобраны следующие факторы.

1. Производство в Южной Африке, тыс. Toz.
2. Производство в России, тыс. Toz.
3. Производство в Северной Америке, тыс. Toz.
4. Производство в Зимбабве, тыс. Toz.
5. Производство в других регионах, тыс. Toz.
6. Итого первичное производство, тыс. Toz.



7. Вторичное предложение из автопрома, тыс. Toz.
8. Вторичное предложение из электроники, тыс. Toz.
9. Вторичное предложение из ювелирной отрасли, тыс. Toz.
10. Итого вторичное предложение, тыс. Toz.
11. Сумма первичного и вторичного предложения, тыс. Toz.
12. Спрос автопрома, тыс. Toz.
13. Спрос химической отрасли, тыс. Toz.
14. Спрос отрасли стоматологии и биомедицины, тыс. Toz.
15. Спрос для электроники, тыс. Toz.
16. Инвестиционный спрос, тыс. Toz.

17. Спрос ювелирной промышленности, тыс. Toz.
18. Другой спрос, тыс. Toz.
19. Суммарный спрос, тыс. Toz.
20. Баланс рынка (профицит/дефицит), тыс. Toz.
21. Среднегодовая цена, \$/Toz.
22. Инфляция в США (CPI USD), %.
23. Цена, скорректированная на инфляцию, \$/Toz.

На рис. 3 представлена корреляционная матрица линейной зависимости 23 факторов на рынке палладия. Для наглядности степень корреляционной зависимости между факторами выделена цветом.

№ фактора	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	1																						
2	-0,15	1																					
3	0,80	-0,27	1																				
4	0,61	-0,55	0,55	1																			
5	0,61	-0,13	0,67	0,32	1																		
6	0,49	0,78	0,33	-0,05	0,31	1																	
7	0,60	-0,55	0,61	0,98	0,40	-0,04	1																
8	0,73	-0,48	0,57	0,94	0,33	0,06	0,90	1															
9	0,53	-0,05	0,34	0,26	0,15	0,26	0,21	0,51	1														
10	0,65	-0,54	0,62	0,99	0,39	0,00	0,99	0,94	0,32	1													
11	0,81	0,14	0,68	0,68	0,50	0,68	0,70	0,73	0,41	0,73	1												
12	0,62	-0,27	0,64	0,87	0,43	0,23	0,90	0,78	0,14	0,88	0,80	1											
13	0,72	-0,40	0,67	0,89	0,44	0,15	0,90	0,85	0,28	0,91	0,77	0,82	1										
14	-0,75	0,53	-0,77	-0,89	-0,56	-0,06	-0,91	-0,87	-0,33	-0,92	-0,71	-0,86	-0,87	1									
15	-0,64	0,56	-0,81	-0,68	-0,67	0,03	-0,73	-0,62	-0,08	-0,71	-0,50	-0,69	-0,70	0,86	1								
16	-0,03	0,15	-0,15	-0,19	0,16	0,08	-0,18	-0,02	0,28	-0,14	-0,04	-0,22	-0,24	0,09	0,15	1							
17	0,45	0,32	0,29	-0,18	0,22	0,51	-0,22	0,08	0,53	-0,14	0,25	-0,25	0,01	0,01	0,04	0,37	1						
18	0,38	0,06	0,44	0,34	0,48	0,35	0,40	0,23	-0,25	0,35	0,49	0,38	0,48	-0,29	-0,41	-0,27	0,12	1					
19	0,61	-0,02	0,53	0,77	0,37	0,43	0,78	0,76	0,26	0,79	0,88	0,93	0,75	-0,73	-0,46	0,01	-0,06	0,35	1				
20	0,16	0,29	0,10	-0,39	0,13	0,31	-0,39	-0,28	0,18	-0,36	-0,05	-0,50	-0,19	0,25	0,07	-0,10	0,57	0,14	-0,52	1			
21	0,31	-0,39	0,43	0,76	0,40	-0,05	0,83	0,59	-0,08	0,78	0,53	0,78	0,76	-0,76	-0,62	-0,19	-0,39	0,38	0,65	-0,40	1		
22	-0,06	0,05	-0,06	0,01	0,12	0,02	0,06	-0,06	-0,05	0,04	0,04	-0,01	0,21	-0,07	-0,03	-0,06	0,02	0,19	-0,03	0,12	0,33	1	
23	0,29	-0,34	0,43	0,72	0,37	-0,02	0,80	0,54	-0,09	0,74	0,53	0,79	0,72	-0,74	-0,60	-0,19	-0,41	0,33	0,66	-0,44	0,99	0,29	1

Рис. 3. Корреляционная матрица для факторов рынка палладия (цвет онлайн)

Fig. 3. Correlation matrix for palladium market factors (color online)

Из матрицы следует аналогичный вывод о том, что корректировка на инфляцию не усиливает корреляционную зависимость между факторами. Высокая положительная корреляционная зависимость цены палладия (№ 21) отмечена от факторов спроса автомобильной (№ 12) и химической (№ 13) промышленности. Также примечательна слабая отрицательная взаимозависимость предложения российского палладия (№ 2) и цены (№ 21). Отмечено, что увеличение дефицита палладия (№ 20) имеет слабую отрицательную зависимость от цены (№ 21).

Для построения корреляционной матрицы факторов на рынке родия выделены следующие:

1. Производство в Южной Африке, тыс. Toz.
2. Производство в России, тыс. Toz.
3. Производство в Северной Америке, тыс. Toz.
4. Производство в Зимбабве, тыс. Toz.
5. Производство в других регионах, тыс. Toz.
6. Итого первичное производство, тыс. Toz.
7. Итого вторичное предложение, тыс. Toz.
8. Сумма первичного и вторичного предложения, тыс. Toz.
9. Спрос автопрома, тыс. Toz.
10. Спрос химической отрасли, тыс. Toz.
11. Спрос для электроники, тыс. Toz.
12. Спрос стекольной промышленности, тыс. Toz.



13. Другой спрос, тыс. Toz.
14. Суммарный спрос, тыс. Toz.
15. Баланс рынка (профицит/дефицит), тыс. Toz.
16. Среднегодовая цена, \$/Toz.
17. Инфляция в США (CPI USD), %.

18. Цена, скорректированная на инфляцию, \$/Toz.

На рис. 4 составлена корреляционная матрица 18 факторов на рынке родия между собой. Для наглядности степень корреляционной зависимости между факторами выделена цветом.

№ фактора	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1																	
2	-0,26	1																
3	0,32	-0,14	1															
4	0,60	-0,47	0,42	1														
5	0,30	-0,04	0,41	0,06	1													
6	0,94	0,06	0,35	0,54	0,32	1												
7	0,72	-0,45	0,44	0,95	0,21	0,66	1											
8	0,92	-0,19	0,43	0,81	0,29	0,92	0,90	1										
9	0,82	-0,21	0,41	0,77	0,34	0,81	0,87	0,92	1									
10	0,75	-0,27	0,50	0,78	0,21	0,73	0,85	0,86	0,73	1								
11	-0,49	0,30	-0,36	-0,53	-0,09	-0,43	-0,56	-0,54	-0,38	-0,69	1							
12	0,42	0,05	0,19	0,22	0,03	0,45	0,21	0,37	0,24	0,38	-0,30	1						
13	0,30	-0,14	0,35	0,35	0,04	0,29	0,33	0,34	0,19	0,58	-0,28	0,14	1					
14	0,86	-0,21	0,45	0,79	0,32	0,86	0,88	0,95	0,98	0,82	-0,45	0,38	0,32	1				
15	0,13	0,07	-0,11	-0,02	-0,11	0,14	-0,02	0,07	-0,27	0,07	-0,24	-0,08	0,03	-0,24	1			
16	0,32	-0,28	-0,03	0,45	0,03	0,26	0,52	0,42	0,54	0,23	-0,05	-0,49	-0,13	0,41	-0,02	1		
17	-0,04	0,02	-0,18	0,00	-0,07	-0,04	0,05	0,00	0,16	-0,10	0,28	-0,42	-0,21	0,06	-0,17	0,63	1	
18	0,30	-0,25	-0,05	0,38	-0,02	0,24	0,46	0,38	0,51	0,19	-0,03	-0,48	-0,14	0,38	-0,05	0,99	0,63	1

Рис. 4. Корреляционная матрица для факторов рынка родия (цвет онлайн)

Fig. 4. Correlation matrix for rhodium market factors (color online)

Искомая матрица подтверждает более сильную взаимосвязь факторов с ценой (№ 16) без учета инфляции. Среднюю положительную зависимость цена на родий (№ 16) имеет от фактора спроса со стороны автопрома (№ 9) и от фактора итогового вторичного предложения (№ 7). Слабая отрицательная зависимость цены на родий (№ 16) замечена от предложения металла из России (№ 2), а также от спроса со стороны стекольной промышленности (№ 12). Такая отрицательная зависимость цены от одного из секторов потребления обусловлена высокой концентрацией стекольной промышленности в Китае, где компании традиционно формируют значительные запасы металла, однако при изменившейся рыночной конъюнктуре распродают их [10].

Факторный анализ рынков иридия и рутения основан только на годовых исторических данных об объеме спроса по каждой отрасли применения с 2005 по 2022 г. (18 наблюдений). Практически все горно-металлургические

компании отдельно не выделяют добычу этих металлов, поэтому о рынке можно судить лишь по статистике потребления. В связи с тем, что отрасли, формирующие спрос на иридий и рутений, совпадают, для построения корреляционной матрицы рассматривались следующие общие факторы.

1. Спрос химической отрасли, тыс. Toz.
2. Спрос для электротехники и электроники, тыс. Toz.
3. Спрос электрохимической отрасли, тыс. Toz.
4. Другой спрос, тыс. Toz.
5. Суммарный спрос, тыс. Toz.
6. Среднегодовая цена, \$/Toz.
7. Инфляция в США (CPI USD), %.
8. Цена, скорректированная на инфляцию, \$/Toz.

На рис. 5 представлены корреляционные матрицы 8 факторов на рынках иридия и рутения. Для наглядности степень корреляционной зависимости между факторами выделена цветом.



№ фактора	1	2	3	4	5	6	7	8	№ фактора	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1								1	1							
2	-0,20	1							2	-0,18	1						
3	0,07	0,43	1						3	0,69	-0,41	1					
4	0,06	-0,03	0,50	1					4	0,87	-0,09	0,63	1				
5	-0,04	0,85	0,78	0,43	1				5	0,49	-0,27	0,35	0,34	1			
6	0,34	-0,09	0,61	0,24	0,22	1			6	-0,08	0,27	-0,47	-0,03	0,03	1		
7	0,61	-0,14	0,27	-0,10	-0,01	0,67	1		7	0,03	-0,01	-0,18	0,01	0,11	0,69	1	
8	0,31	-0,07	0,62	0,24	0,23	1,00	0,65	1	8	-0,21	0,33	-0,57	-0,14	0,03	0,98	0,61	1

Рис. 5. Корреляционная матрица для факторов рынка иридия (слева) и рутения (справа) (цвет онлайн)
Fig. 5. Correlation matrix for iridium (left) and ruthenium (right) market factors (color online)

Корректировка на инфляцию в цене на иридий не дала значимых результатов, однако скорректированная на инфляцию цена рутения усилила взаимосвязь факторов. Цена на иридий (№ 6) показала слабую положительную зависимость от спроса со стороны химической отрасли (№ 1) и среднюю положительную зависимость от спроса со стороны сектора электрохимии (№ 3). Цена с учетом инфляции на рутений (№ 8) показала слабую положительную зависи-

мость от спроса для электротехники и электроники (№ 2), а также слабую отрицательную взаимозависимость с потреблением в электрохимической отрасли (№ 3).

Следующим шагом после интерпритации полученных результатов является построение регрессионных моделей для каждого металла. В табл. 4 представлена модель множественной логарифмически-полиномиальной регрессии на платину.

Таблица 4 / Table 4

Модель множественной логарифмически-полиномиальной регрессии на платину
Multiple log-polynomial regression model for platinum

$\ln Y_{Pt} = 0,00143 \times X_1 - 0,0000002 \times X_1^2 + 0,00092 \times X_2 - 0,001359 \times X_3 + 4,476$			
Переменная	Значение		
$\ln Y_{Pt}$	Изменение среднегодовой цены на платину без учета инфляции, %		
X_1	Спрос автомобильной промышленности, тыс. Toz		
X_2	Вторичное предложение из ювелирной отрасли, тыс. Toz		
X_3	Производство в Северной Америке, тыс. Toz		
Характеристика переменных			
Переменная	Стандартная ошибка	T-statistic	P-value
X_1	0,000424462	3,371	0,0024
X_1^2	0,000133895	6,876	< 0,0001
X_2	0,00000007224	-2,805	0,0094
X_3	0,000790504	-1,719	0,0975
const	0,501640	8,924	< 0,0001
Регрессионная статистика			
Показатель	Значение	Показатель	Значение
Среднее зависимой переменной	6,674709	Стандартное отклонение зависимой переменной	0,523652
RSS	0,828522	Стандартная ошибка модели	0,178511
R^2	0,899284	Скорректированный R^2	0,883790
$F(4, 26)$	58,03816	P-value (F)	1,39e-12

Рассчитано по: [3, 5, 11] / Calculated to: [3, 5, 11].



Полученная модель на платину показывает, на сколько процентов изменяется цена на платину при изменении спроса автомобильной промышленности, вторичного предложения ювелирной отрасли и первичного производства в Северной Америке. Коэффициент детерминации (R^2) показывает высокое качество модели, а P -значение

подтверждает значимость модели. В отличие от других тестируемых моделей, данная модель позволила включить три значимых фактора, логарифм левой части и нелинейный характер спроса со стороны автопрома повысили точность модели.

В табл. 5 представлена модель парной полиномиальной регрессии на палладий.

Таблица 5 / Table 5

Модель парной полиномиальной регрессии на палладий
Pairwise polynomial regression model for palladium

$Y_{Pd} = - 0,3789 \times X_1 + 0,000323 \times X_1^2 + 331,841$			
Переменная	Значение		
Y_{Pd}	Среднегодовая цена на палладий без учета инфляции, \$/Toz		
X_1	Вторичное предложение автомобильной промышленности, тыс. Toz		
Характеристика переменных			
Переменная	Стандартная ошибка	T -statistic	P -value
X_1	0,205864	−1,840	0,0763
X_1^2	0,000072	4,482	0,0001
const	100,951	3,287	0,0027
Регрессионная статистика			
Показатель	Значение	Показатель	Значение
Среднее зависимой переменной	641,3047	Стандартное отклонение зависимой переменной	620,3505
RSS	2105913	Стандартная ошибка модели	274,2466
R^2	0,817592	Скорректированный R^2	0,804562
$F(2, 28)$	62,75085	P -value (F)	4,51e-11

Рассчитано по: [3, 5, 11] / Calculated to: [3, 5, 11].

Построить многофакторную модель на палладий не получилось по причине высокой зависимости цены от спроса автомобильной промышленности. Однако среди прочих тестируемых парных моделей выявлена зависимость вторичного предложения автомобильной промышленности и цены на палладий. На рис. 6 представлен график, на котором показана нелинейная связь между фактором и зависимой переменной.

В совокупности с результатами теоретического анализа, который показал высокое влияние вторичного предложения палладия на цену, а также крайне высокую неопределенность с объемами такого предложения, полученную модель можно использовать в том числе для прогнозирования потенциального поступления вторичного металла на основе текущих цен.

В регрессионную модель на родий удалось включить два основных фактора: спрос со стороны автомобильной и стекольной промышлен-

ности. В табл. 6 представлена модель множественной полиномиальной регрессии на родий.

Среди тестируемых моделей данная модель имеет сильную регрессионную статистику, а полученное уравнение цены на родий может достаточно точно ее прогнозировать. Помимо автомобильной промышленности, на которую приходится более 90% всего потребления родия, модель содержит спрос со стороны стекольной отрасли. Как упоминалось ранее, китайские компании традиционно аккумулируют большой объем родия в запасах и могут выступать не только со стороны покупателя, но и со стороны продавца. В 2022 г. на волне распродаж накопленных запасов отрасль из нетто-потребителя перешла в состояние, в котором обеспечивала производство за счет собственного сырья. Такая динамика оказывает значительное влияние на развитие рынка, поэтому попытка моделирования и прогнозирования таких изменений снижает неопределенность, в том числе для горнодобывающих компаний.

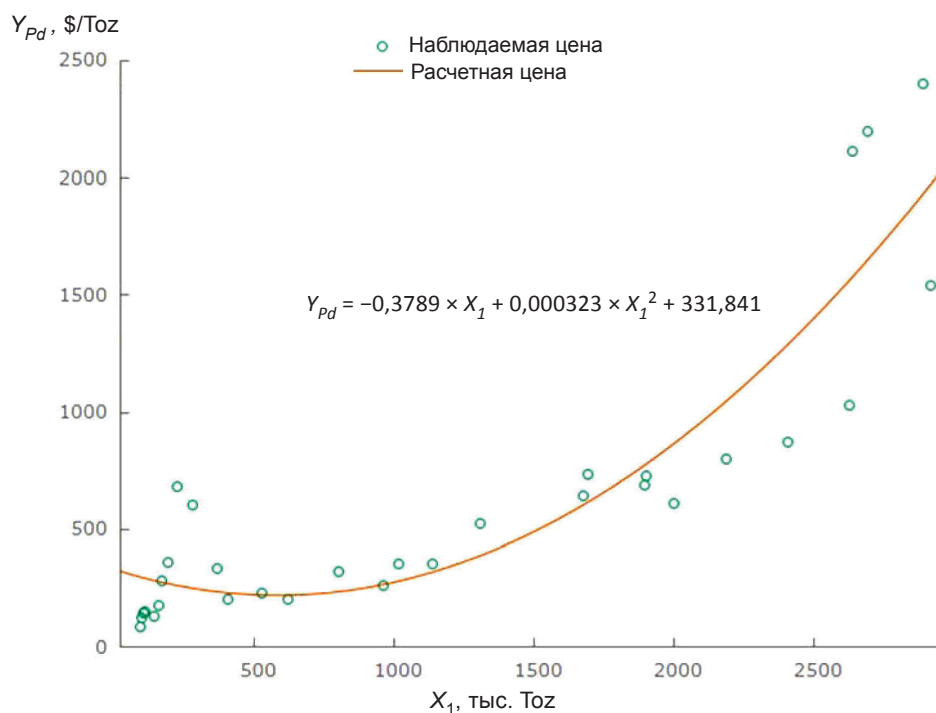


Рис. 6. Наблюдаемая и расчетная цена палладия от вторичного предложения автомобильной промышленности

Fig. 6. Observed and estimated palladium price from automotive industry secondary supply

Таблица 6 / Table 6

Модель множественной полиномиальной регрессии на родий
Multiple polynomial regression model for rhodium

$Y_{Rh} = 1,5298 \times X_1 - 0,000331 \times X_1^2 + 1,0367 \times X_2 - 120,67$			
Переменная	Значение		
Y_{Rh}	Среднегодовая цена на родий без учета инфляции, \$/Toz		
X_1	Спрос автомобильной промышленности, тыс. Toz		
X_2	Спрос стекольной промышленности, тыс. Toz		
Характеристика переменных			
Переменная	Стандартная ошибка	T-statistic	P-value
X_1	0,188314	8,123	<0,0001
X_1^2	0,000139101	-2,382	0,0245
X_2	0,176991	5,857	<0,0001
const	57,1564	-2,111	0,0442
Регрессионная статистика			
Показатель	Значение	Показатель	Значение
Среднее зависимой переменной	816,2903	Стандартное отклонение зависимой переменной	231,7876
RSS	19873,75	Стандартная ошибка модели	27,13052
R^2	0,987670	Скорректированный R^2	0,986300
$F(1, 16)$	720,9014	P-value (F)	7,16e-26

Рассчитано по: [3, 11, 12] / Calculated to: [3, 11, 12].



Модели на иридий и рутений оказались наименее точны и значимы. Из-за недостатка открытых данных о производстве и отсутствия устойчивой динамики в сфере приме-

нения модели содержат одну независимую переменную. В табл. 7 приведена модель парной логарифмически-линейной регрессии на иридий.

Таблица 7 / Table 7

Модель парной логарифмически-линейной регрессии на иридий
Pairwise log-linear regression model for iridium

$lnY_{Ir} = 0,0276584 \times X_1 + 5,11$			
Переменная	Значение		
lnY_{Ir}	Изменение среднегодовой цены на иридий без учета инфляции, %		
X_1	Спрос электрохимической отрасли, тыс. Toz		
Характеристика независимых переменных			
Переменная	Стандартная ошибка	T -statistic	P -value
X_1	0,00528887	5,230	<0,0001
const	0,331881	15,40	<0,0001
Регрессионная статистика			
Показатель	Значение	Показатель	Значение
Среднее зависимой переменной	6,717257	Стандартное отклонение зависимой переменной	0,848498
RSS	4,517508	Стандартная ошибка модели	0,531361
R^2	0,630896	Скорректированный R^2	0,607827
$F(1, 16)$	27,34825	P -value (F)	0,000083

Рассчитано по: [5, 11, 12] / Calculated to: [5, 11, 12].

Модель на иридий показывает, на какой процент изменится цена на металл при изменении спроса со стороны электрохимической отрасли. При расширении рассматриваемых факторов, в

процессе тестирования моделей было зафиксировано снижение качества.

В табл. 8 представлена модель парной линейной регрессии на рутений.

Таблица 8 / Table 8

Модель парной линейной регрессии на рутений
Pairwise linear regression model for ruthenium

$Y_{Ru} = -3,526 \times X_1 + 741,821$			
Переменная	Значение		
Y_{Ru}	Среднегодовая цена на рутений с учетом инфляции, \$/Toz		
X_1	Спрос электрохимической отрасли, тыс. Toz		
Характеристика независимых переменных			
Переменная	Стандартная ошибка	T -statistic	P -value
X_1	1,27018	-2,776	0,0135
const	176,115	4,212	0,0007
Регрессионная статистика			
Показатель	Значение	Показатель	Значение
Среднее зависимой переменной	267,5635	Стандартное отклонение зависимой переменной	214,3627
RSS	527230,3	Стандартная ошибка модели	181,5266
R^2	0,325079	Скорректированный R^2	0,282896
$F(1, 16)$	7,706470	P -value (F)	0,013491

Рассчитано по: [3, 11, 12] / Calculated to: [3, 11, 12].



Приведенная модель позволяет определить цену на рутений на основе спроса со стороны электрохимической отрасли. Регрессионный анализ факторов на рынке рутения не показал значимых зависимостей, а прогнозирование цены на металл может быть выполнено только с достаточно низкой точностью.

Таким образом, на основе обнаруженных взаимозависимостей факторов на рынке каждого из пяти металлов, а также в ходе тестирования различных вариантов сочетания этих факторов представлены наиболее значимые прогнозные модели, за счет которых возможно делать выводы о направлениях развития рынка металлов платиновой группы в целом.

Результаты

По итогам исследования, часть факторов, в особенности со стороны первичного производства, имеет схожий характер влияния на рынок всей группы металлов. При этом важно отметить, что степень влияния этих факторов сильно зависит от рыночной ситуации по наиболее распространенным металлам (платина, палладий, родий).

Динамика поступления вторичных металлов на рынок хоть и носит децентрализованный труднопрогнозируемый характер, однако при повышении цен на металлы была установлена прямая взаимозависимость ответного повышения вторичного предложения на рынке. Стоит отметить, что на текущем этапе развития рынков МПГ вторичное предложение оказывает ограниченное влияние, но в будущем роль этого фактора будет возрастать.

Проведенный анализ факторов со стороны спроса подтвердил высокую зависимость цен палладия и родия от потребления автомобильной промышленностью. Помимо основного фактора влияния, установлена зависимость цены на платину от потребления в химической отрасли и применения металла в стоматологии. Спрос стекольной промышленности вызывает изменение цены на родий.

Помимо прочего, из-за высокой концентрации добычи МПГ в пяти странах, четырем из которых недостаточно емкости внутреннего рынка применения, в процессе перераспределения металлов на развитые рынки допустимо проявление косвенных производственных, экономических и политических факторов, не включенных в данное исследование, но которые будут рассмотрены в следующих работах.

Список литературы

1. *Loferski P. J.* Platinum-Group Metals Statistics and Information // US Geological Survey, February. 2015. URL: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/platinum> (дата обращения: 30.10.2023).
2. *Platinum Quarterly* // World Platinum Investment Council (WPIC), Q2 2023. Available at: https://platinuminvestment.com/files/419953/WPIC_Platinum_Quarterly_Q2_2023.pdf (accessed October 30, 2023).
3. *PGM market report May 2014, 2018, 2023* // Johnson Matthey. URL: <https://matthey.com/en/products-and-markets/pgms-and-circularity/pgm-markets/pgm-market-reports> (дата обращения: 30.10.2023).
4. *Степанов И. А.* Анализ влияния факторов на рынок металлов платиновой группы в 2022 году // Инновационные механизмы управления цифровой и региональной экономикой : материалы V Междунар. студ. науч. конф. М. : НИЯУ «МИФИ», 2023. С. 16–28. EDN: TGRMJQ
5. *LBMA Precious Metal Prices*. URL: <https://www.lbma.org.uk/prices-and-data/precious-metal-prices/#/> (дата обращения: 31.10.2023).
6. *Zientek M. L., Loferski P. J., Park, H. L., Schult R. F., Sea R. R. II.* Platinum-group elements. Chapter N of Critical mineral resources of the United States – Economic and environmental geology and prospects for future supply / ed. by K. J. Schulz, J. H. DeYoung, Jr., R. R. Seal II, D. C. Bradley. Reston, V.A. : U.S. Geological Survey, 2017. P. N1–N91 (Professional Paper 1802). <https://doi.org/10.3133/pp1802N>
7. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2011 году». Москва, 2021. URL: <https://gd2021.data-geo.ru/pmd/pt/> (дата обращения: 30.10.2023).
8. *Raymond T., Wilson D., Clifford B.* Platinum perspectives // World Platinum Investment Council (WPIC). URL: <https://platinuminvestment.com/> (дата обращения: 30.10.2023).
9. *Tang H., Peng Zh., Tian R., Ye L., Zhang J., Rao M., Li G.* Platinum-group metals: Demand, supply, applications and their recycling from spent automotive catalysts // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2023. Vol. 11, iss. 5. Art. 110237. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110237>
10. *Yi S., Laine E., Yi X.* Shandong Fiberglass Dips into Rhodium Reserves Again to Buoy Performance. URL: <https://www.yicaiglobal.com/news/shandong-fiberglass-dips-into-rhodium-reserves-again-to-buoy-performance> (дата обращения: 30.01.2023).
11. *Platinum 2001, 2006* // Johnson Matthey. URL: <https://matthey.com/products-and-markets/pgms-and-circularity/pgm-management/report-archive> (дата обращения: 30.10.2023).
12. *PGM prices and trading* // Johnson Matthey. URL: <https://matthey.com/products-and-markets/pgms-and-circularity/pgm-management/> (дата обращения: 30.10.2023).



References

1. Loferski P. J. Platinum-Group Metals Statistics and Information. *US Geological Survey*, February. 2015. Available at: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/platinum> (accessed October 30, 2023).
2. Platinum Quarterly. *World Platinum Investment Council (WPIC)*, Q2 2023. Available at: https://platinuminvestment.com/files/419953/WPIC_Platinum_Quarterly_Q2_2023.pdf (accessed October 30, 2023).
3. PGM Market Report May 2014, 2018, 2023. *Johnson Matthey*. Available at: <https://matthey.com/en/products-and-markets/pgms-and-circularity/pgm-markets/pgm-market-reports> (accessed October 30, 2023).
4. Stepanov I. A. Analysis of the factors' impact on the platinum group metals market in 2022. *Innovatsionnye mekhanizmy upravleniya tsifrovoy i regional'noy ekonomikoy* [Innovative Mechanisms for Managing the Digital and Regional Economy. Materials of the V International student scientific conference]. Moscow, National Research Nuclear University "MEPhI" Publ., 2023, pp. 16–28 (in Russian). EDN: TGRMJQ
5. *LBMA Precious Metal Prices*. Available at: <https://www.lbma.org.uk/prices-and-data/precious-metal-prices#/> (accessed October 30, 2023).
6. Zientek M. L., Loferski P. J., Parks H. L., Schulte R. F., Seal R. R., II, 2017, *Platinum-group elements*. Chapter N of Schulz K. J., DeYoung J. H., Jr., Seal R. R., II, Bradley D. C. (eds.) *Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply*. Professional Paper 1802. Reston, V.A., U.S. Geological Survey, 2017, pp. N1–N91. <https://doi.org/10.3133/pp1802N>
7. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov Rossiyskoy Federatsii v 2011 godu»* (State report "About the state and use of mineral resources in the Russian Federation in 2021". Moscow, 2021). Available at: <https://gd2021.data-geo.ru/pmd/pt/> (accessed October 30, 2023) (in Russian).
8. Raymond T., Wilson D., Clifford B. Platinum perspectives. *World Platinum Investment Council (WPIC)*. Available at: <https://platinuminvestment.com/> (accessed on 30 October 2023).
9. Tang H., Peng Zh., Tian R., Ye L., Zhang J., Rao M., Li G. Platinum-group metals: Demand, supply, applications and their recycling from spent automotive catalysts. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2023, vol. 11, iss. 5, art. 110237. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110237>
10. Yi S., Laine E., Yi X. *Shandong Fiberglass Dips into Rhodium Reserves Again to Buoy Performance*. Available at: <https://www.yicaiglobal.com/news/shandong-fiberglass-dips-into-rhodium-reserves-again-to-buoy-performance> (accessed January 30, 2023).
11. Platinum 2001, 2006. *Johnson Matthey*. Available at: <https://matthey.com/products-and-markets/pgms-and-circularity/pgm-management/report-archive> (accessed October 30, 2023).
12. PGM prices and trading. *Johnson Matthey*. Available at: <https://matthey.com/products-and-markets/pgms-and-circularity/pgm-management/> (accessed October 30, 2023).

Поступила в редакцию 31.10.2023; одобрена после рецензирования 20.11.2023; принята к публикации 04.12.2023
The article was submitted 31.10.2023; approved after reviewing 20.11.2023; accepted for publication 04.12.2023