

УПРАВЛЕНИЕ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. 2024. Т. 24, вып. 2. С. 147–159
Izvestiya of Saratov University. Economics. Management. Law, 2024, vol. 24, iss. 2, pp. 147–159
<https://eup.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2024-24-2-147-159>

EDN: ОТКЕСС

Научная статья
УДК 338.2

Сбыт металлов платиновой группы: планирование и оптимизация

В. Г. Когденко, И. А. Степанов ✉

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

Когденко Вера Геннадьевна, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой финансового менеджмента, kogdenko7@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9732-1174>

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

Аннотация. Введение. Разработка методических вопросов оптимизации деятельности горно-металлургических компаний и сбыта металлов платиновой группы является высокоактуальной в условиях современной конъюнктуры рынка в связи с санкционными ограничениями и разрывом международных экономических связей. **Теоретический анализ.** Сформулирована концепция оптимизационной модели, определены основные цели для сбытового блока горно-металлургической компании, обоснован сбалансированный подход помесячного планирования, предполагающий разделение объема продаж на две части: по долгосрочным контрактам и на спотовом рынке, разработаны этапы построения оптимизационной модели сбыта. **Эмпирический анализ.** Представлена оптимизационная модель для расчета объемов реализации платины, палладия и родия в течение двух месяцев для получения максимальной операционной прибыли. Модель основана на регрессионном моделировании цен на металлы платиновой группы, модели расходов, построенной на открытых данных российской горно-металлургической компании. **Результаты.** Апробация методики позволила обосновать объемы реализации металлов платиновой группы в двух прогнозных периодах в зависимости от ценовой конъюнктуры, которые обеспечивают возможность увеличения суммарной прибыли компании при заданных ограничениях.

Ключевые слова: методика, планирование, сбыт, металлы платиновой группы, платина, палладий, родий, оптимизационное моделирование

Для цитирования: Когденко В. Г., Степанов И. А. Сбыт металлов платиновой группы: планирование и оптимизация // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. 2024. Т. 24, вып. 2. С. 147–159. <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2024-24-2-147-159>, EDN: ОТКЕСС

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

Article

Platinum group metals sales process: Planning and optimization

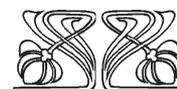
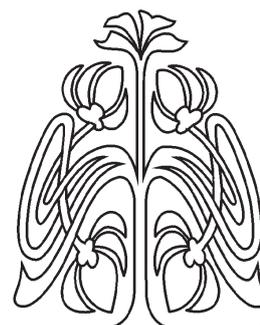
V. G. Kogdenko, I. A. Stepanov ✉

National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), 31 Kashirское шоссе, Moscow 115409, Russia

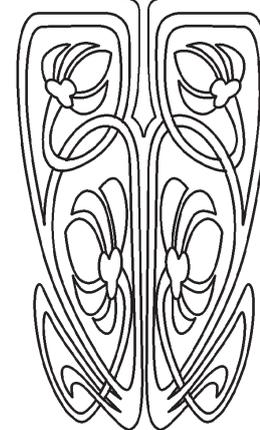
Vera G. Kogdenko, kogdenko7@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9732-1174>

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

© Когденко В. Г., Степанов И. А., 2024



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ





Abstract. Introduction. The development of methodological issues of optimizing the activities of mining and metallurgical companies and the sale of platinum group metals are highly relevant in the current market conditions due to sanctions restrictions and the severance of international economic ties. **Theoretical analysis.** The concept of an optimization model is formulated, the main goals for the sales unit of a mining and metallurgical company are determined, a balanced approach to monthly planning is justified, which involves dividing the sales volume into two parts: under long-term contracts and on the spot market, and the stages of constructing an optimization sales model are developed. **Empirical analysis.** An optimization model is presented for calculating sales volumes of platinum, palladium and rhodium within two months to obtain maximum operating profit. The model is based on regression modeling of prices for platinum group metals, a cost model built on open data from a Russian mining and metallurgical company. **Results.** Approbation of the methodology made it possible to justify the sales volumes of platinum group metals in two forecast periods depending on the price environment, which provide the opportunity to increase the total profit of the company under given restrictions.

Keywords: methodology, planning, sales, platinum group metals, platinum, palladium, rhodium, optimization modeling

For citation: Kogdenko V. G., Stepanov I. A. Platinum group metals sales process: Planning and optimization. *Izvestiya of Saratov University. Economics. Management. Law*, 2024, vol. 24, iss. 2, pp. 147–159 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2024-24-2-147-159>, EDN: OTKECG

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

Введение

Текущая ситуация в экономике и ограничительная политика недружественных стран в отношении российского бизнеса стимулируют перестройку и оптимизацию деятельности горно-металлургических компаний, в том числе в части такого ключевого бизнес-процесса, как сбыт [1]. Горно-металлургические компании рассматривают бизнес-процесс сбыта как одну из важнейших сфер своей деятельности, в рамках которой создается значимая часть прибыли и стоимости компании. Более того, успешное функционирование горно-металлургической компании, помимо собственных коммерческих целей, позволяет решить в том числе ряд задач по обеспечению ресурсного суверенитета, промышленного развития страны [2, 3].

Российские горно-металлургические компании, занимающиеся добычей металлов платиновой группы, столкнулись с рядом трудностей в связи с санкционными ограничениями [4]. Особенно болезненно произошел разрыв сложившихся за долгие годы международных экономических связей, в том числе с биржами металлов и финансовыми институтами. Из-за лишения Лондонской ассоциацией участников рынка драгоценных металлов в апреле 2022 г. всех российских аффинажных предприятий статуса Good Delivery металлы платиновой группы потеряли абсолютный базис ликвидности, к которым относятся основные западные биржи [5].

Актуальность исследования обусловлена потерей российскими горно-металлургическими компаниями существенной части рынка, произошедшей из-за увеличения рыночной доли производителей из Африки, а также снижения цен относительно рынка вследствие дисконтов, что требует от бизнеса повышения эффективности инвестиционной, операционной, в том числе сбытовой деятельности.

В настоящее время ввиду отсутствующих возможностей хеджирования ценовых рисков практика продаж металлов платиновой группы в горно-металлургических компаниях сложилась таким образом, что основная реализация происходит в те моменты и по тем спотовым ценам, которые покупатель, стремясь приобрести металлы в периоды благоприятной ценовой конъюнктуры, определил исходя из собственных расчетов наиболее привлекательными [6]. В такие моменты из-за невозможности прогнозирования следующего «окна возможностей» горно-металлургические компании стремятся обеспечить максимальную реализацию всего доступного производства. Подобный подход к сбыту в горно-металлургических компаниях можно было объяснить стремлением как можно скорее реализовать накопленные в период острого кризиса 2022 г. сверхнормативные запасы. Однако по мере переориентации на другие рынки, реализации большей части накопившихся запасов, а также перестройки логистических и финансовых каналов такая практика перестала обеспечивать оптимальность сбыта. Очевидно, что компании теряют возможность сбалансированной реализации в периоды благоприятной ценовой конъюнктуры [7]. Более того, осуществляя реализацию, компании формируют доминирующее положение покупателя на рынке металлов платиновой группы, что усиливает волатильность цен и непредсказуемость поведения участников на нем.

Теоретический анализ

Вопросы прогнозирования и оптимизации объемов продаж металлов многие годы поднимаются в работах отечественных и зарубежных ученых. Многими авторами отмечено эффективное использование различных количественных методов (множественный регрессионный анализ, оптимизационное моделирование, линейное



программирование) при прогнозировании цен и объемов продаж металлов [8–10]. Некоторые авторы сконцентрировались на оптимизации объемов производства. Так, М. Симон, рассматривая отрасль цветной металлургии, отмечает сложность планирования производства и сбыта мультikomпонентных месторождений [11]. Автор сконцентрировался на оптимизации объемов производства и разработал подход для оперативного планирования производства цветных металлов на примере крупного европейского производителя цветных металлов.

П. Аффербх сконцентрировал свое исследование на так называемых второстепенных металлах (селен, металлы платиновой группы и др.) – побочных продуктах, извлекаемых попутно при добыче цветных металлов [12]. Автор высказывает озабоченность тем, что первичные продукты по-прежнему определяют производственные решения горно-металлургических компаний в первую очередь. Результаты исследования показывают, что нынешние рыночные условия для второстепенных металлов предполагают необходимость их включения в модели планирования производства и сбыта.

В связи с растущей значимостью и промышленной применимостью металлов платиновой группы ряд авторов исследуют факторы, определяющие объемы первичного производства и формирующие динамику цен на металлы. На основе выявленных зависимостей авторы предлагают практические решения для компаний по повышению эффективности сбыта [13]. Исследуя горно-металлургический сектор Южной Африки, М. Инхам в своей работе с помощью байесовского анализа точек изменения (BCP), алгоритма динамического программирования (DP) и непараметрического анализа множественных точек изменения (MCP) проанализировал изменения объемов производства и продаж различных металлов, в том числе металлов платиновой группы, за период с 2003 по 2016 г. [14]. Он определил, что случаи падения производства в стране были вызваны преимущественно забастовками рабочих и ростом себестоимости добычи, в то время как на объем продаж повлияли изменения обменного курса и стоимости металлов в рандах. Отсюда вывод – важно учитывать социально-экономическую среду, в которой работает горнодобывающий сектор.

Сфокусировавшись на металлургическом секторе Индонезии, Т. Х. Симатупанг и Й. Сунитиёсо отмечают обострившуюся конкуренцию на рынках металлов со стороны многочисленных зарубежных производителей [15]. По мнению

авторов, такая динамичная ситуация требует агрессивной стратегии продаж для обеспечения доминирования на рынке, особенно учитывая, какую высокую роль в укреплении национальной экономической независимости и поддержке жизненно важных инфраструктурных проектов Индонезии играют национальные горно-металлургические компании. В таких условиях авторы разработали четыре сценария, которые предполагают определенный набор стратегий и действий для максимизации прибыли при изменении рыночной конъюнктуры на семилетний период.

Очевиден высокий потенциал исследования проблем оптимизации сбыта металлов платиновой группы, поскольку ключевая доля на рынке и ресурсный потенциал России, а также редкость и промышленная значимость металлов раскрыты недостаточно [16]. По результатам обзора литературы и с учетом авторских наработок для сбытового блока горно-металлургической компании выделены следующие основные цели:

- осуществить реализацию 100% объема добываемых металлов;
- обеспечить регулярное, прогнозируемое поступление выручки от продаж для покрытия затрат компании;
- максимизировать средневзвешенную цену реализации и прибыль компании.

Для достижения поставленных целей в настоящем исследовании сформулирован и обоснован сбалансированный подход помесечного планирования, предполагающий разделение объема продаж на две части:

1) объем продаж металлов платиновой группы (платины, палладия и родия) по долгосрочным контрактам. Как правило, он составляет 70–80% месячного объема продаж и обеспечивает предсказуемость и регулярность поступления выручки;

2) оставшиеся 20–30% объема продаж реализуются на спотовом рынке и по решению продуктового менеджера могут использоваться для продажи в периоды благоприятной ценовой конъюнктуры или направляться в тактический запас в моменты неблагоприятной конъюнктуры для продажи в следующем периоде.

Для работы модели необходимо выполнить аналитические процедуры, представленные на рисунке.

На первом шаге следует проводить факторный анализ на рынках рассматриваемых металлов, в том числе с учетом регионального аспекта, а также осуществлять анализ исторической ценовой динамики, проводить сравнение спотовых и фьючерсных цен, выявлять контанго или



Этапы построения оптимизационной модели сбыта

Figure. Sales optimization modelling steps

бэквордацию на рынках. В процессе применения оптимизационной модели сбыта важно регулярно сопоставлять и дополнять и регрессионные модели цен на металлы с актуальной рыночной статистикой [17].

На втором этапе горно-металлургической компании следует использовать данные о расходах в разрезе выпускаемой продукции. Поскольку такая информация зачастую не публикуется российскими горно-металлургическими компаниями, в рамках нашего исследования используются данные о расходах по всей компании.

На третьем этапе в качестве неизменяемых параметров модели определены следующие показатели: выручка от продажи прочих металлов (кроме платины, палладия и родия), прогнозный объем производства на два месяца по платине, палладию и родию.

Продолжительность оптимизационного моделирования на третьем этапе ограничена двумя месяцами, в течение которых должен быть реализован заданный объем продаж. Более длительный период (три и более месяцев) в исследовании не рассматривается, поскольку



в случае несоответствия прогнозных значений рыночной ценовой динамике управление объемом на длительном интервале может привести к формированию больших запасов и высокому риску потерь.

На четвертом этапе в качестве критерия оптимизации выбрана операционная прибыль. Исходя из целей оптимизации, может быть выбран другой критерий. На пятом этапе предполагается использовать в качестве ограничений минимальное значение прибыли в каждом периоде, а также минимальную долю объема производства, которая должна быть реализована (быть не меньше доли продаж по долгосрочным контрактам).

Далее, для двух месяцев определяется оптимальная доля продаж в первом и втором месяце с учетом заданного критерия и ограничений модели. Очевидно, если прогнозируется рост цен, то объем продаж в первом из двух месяцев должен быть минимальным, во втором – максимальным. При обратной ценовой динамике максимальный объем продаж, а также вовлечение оборотного запаса следует планировать в первом месяце. Для определения оптимума в исследовании применяется инструмент Excel Поиск решения (поиск оптимального решения следует осуществлять методом обобщенного приведенного градиента) [18].

После расчета оптимальных пропорций продаж моделируются показатели выручки, расходов и прибыли по каждому металлу платиновой группы с помощью метода Монте-Карло для определения возможных колебаний будущей прибыли за два месяца [18]. Для реализации метода Монте-Карло обосновываются доверительные интервалы колебаний цен на каждый из металлов, в пределах которых имитируются 10 000 опытов и рассчитываются значения для первого и второго месяца, затем суммарные значения. На заключительных этапах осуществляются финальные расчеты и дополнения модели.

По итогам теоретического описания шагов оптимизационного моделирования сбыта металлов платиновой группы следует перейти к практической части исследования, включающей реализацию модели, поэтапному обоснованию выбранных параметров и выполнению соответствующих расчетов.

Эмпирический анализ

В рамках практической части исследования осуществляется оптимизационное моделирование сбыта на примере российской горно-метал-

лургической компании ПАО «ГМК «Норильский никель», специализирующейся на добыче медно-никелевых руд и извлечении из них попутно содержащихся металлов платиновой группы [19]. На компанию приходится 99% всего российского первичного производства металлов платиновой группы [20].

Актуальность вопросов оптимизации деятельности подтверждается статистическими данными первичного производства за последние 30 лет, в соответствии с которыми рыночная доля компании на рынках платины, палладия и родия снижается. В табл. 1 приведена динамика предложения платины основными странами-производителями, рассчитан среднегодовой темп роста (CAGR).

Таблица 1 / Table 1

Предложение первичной платины, %
Primary platinum supply, %

Регион (Страна)	1992	2002	2012	2022	CAGR
Южная Африка	71,99	74,54	72,45	71,70	1,23
Россия	19,63	16,42	14,12	10,85	-0,74
Северная Америка	5,24	6,53	5,55	4,81	0,96
Зимбабве	–	–	5,94	8,82	6,98
Другие	3,14	2,51	1,94	3,82	1,90
Итого	100	100	100	100	1,24

Рассчитано по: [21] / Calculated to: [21].

Расчеты показывают, что доля России на рынке первичной платины снижается почти в два раза, при этом объем предложения платины российских производителей снижается со средним темпом -0,74% в год, в то время как объем предложения зарубежных производителей растет с темпом от 1,23 до 6,98%. Месторождение в районе Грейт-Дайк в Зимбабве обладает вторыми в мире объемами запасов платины (после ЮАР) и палладия (после России) [20]. Разработкой месторождений в стране занимаются Anglo American Platinum и Impala Platinum Holdings через дочернюю компанию Zimplats. Ввиду достаточно продолжительной политико-правовой нестабильности в стране добыча на месторождении началась относительно недавно – менее 20 лет назад. Однако объем производимых металлов платиновой группы в стране в ближайшие годы при благоприятной ценовой конъюнктуре может выйти на уровень, способный оказывать значительное влияние на соотношение спроса и предложения металлов в мире.



В табл. 2 приведены данные по палладию.

Таблица 2 / Table 2

Предложение первичного палладия, %
Primary palladium supply, %

Регион (Страна)	1992	2002	2012	2022	CAGR
Южная Африка	32,47	41,14	35,87	36,09	1,99
Россия	54,12	36,76	43,92	41,22	0,71
Северная Америка	11,60	18,86	13,74	12,89	1,99
Зимбабве	–	–	4,00	6,48	7,22
Другие	1,80	3,24	2,46	3,31	3,71
Итого	100	100	100	100	1,63

Рассчитано по: [21] / Calculated to: [21].

Ситуация на рынке первичного палладия несколько лучше, т. е. изменение рыночной доли с 54,12% в 1992 г. до 41,22% в 2022 г. менее существенно. Стоит отметить, что рост предложения российских производителей положителен, хотя и отстает от среднемирового уровня.

В табл. 3 представлено изменение доли в структуре предложения родия, а также рассчитан совокупный годовой темп роста предложения металла.

Таблица 3 / Table 3

Предложение первичного родия, %
Primary rhodium supply, %

Регион (Страна)	1992	2002	2012	2022	CAGR
Южная Африка	73,54	79,67	79,81	82,01	2,42
Россия	21,16	14,63	12,45	8,35	-1,07
Северная Америка	5,03	4,07	3,46	2,59	-0,18
Зимбабве	–	–	3,87	6,19	4,38
Другие	0,26	1,63	0,41	0,86	6,15
Итого	100	100	100	100	2,05

Рассчитано по: [21] / Calculated to: [21].

По родию, как и по платине, выявлено драматичное снижение доли России в структуре первичного предложения металла – с 21,16% в 1992 г. до 8,35% в 2022 г. Объем предложения родия снижается в среднем более чем на процент в год, в то время как общемировой рост объема первичного предложения составляет 2,05%.

Причины такой негативной для российских производителей динамики кроются в недостаточной эффективности принимаемых стратегических и тактических решений в части инвестиционных программ по расширению производственных мощностей, распределению прибыли, что приводит к более низким темпам роста выручки относительно конкурентов отрасли [22]. Здесь также важно отметить отличительную особенность российских месторождений от южноафриканских, которая затрудняет увеличение добычи металлов платиновой группы. Дело в том, что в России металлы платиновой группы добываются с никелем и медью попутно, в этой связи невозможно увеличить производство драгоценных металлов (платина, палладий, родий и др.) без увеличения производства цветных металлов (никель, медь, кобальт).

С учетом вышеизложенного, а также текущей экономической ситуации именно тактические решения, касающиеся стратегии сбыта, способны повысить маржинальность продаж, обеспечить инициативы по развитию горно-металлургической компании и будущее увеличение объема продаж.

Переходя далее к расчетам по модели, следует в первую очередь обосновать прогнозную динамику цен на исследуемые металлы платиновой группы. В горно-металлургических компаниях прогнозные модели цен строятся специалистами маркетингово-аналитической группы и могут быть использованы в оптимизационном моделировании для внутрикорпоративных задач. Некоторые фабрикатеры, потребители, международные консалтинговые агентства, научно-исследовательские организации и другие участники рынка металлов платиновой группы открыто публикуют свои прогнозы цен, которыми можно воспользоваться. Данное исследование базируется на собственных регрессионных моделях по платине и палладию, опубликованных в статье «Факторный анализ рынка металлов платиновой группы и моделирование направлений его развития». Что касается цены на родий, в исследовании используется прогноз цены на 2023 г., ежегодно публикуемый Heraeus Precious Metals [23].

Результаты показали, что факторы, определяющие динамику цен, таковы: по платине – это спрос со стороны автомобильной промышленности, вторичное предложение из ювелирной отрасли и производство в Северной Америке; по палладию – вторичное предложение со сто-



роны автомобильной промышленности, спрос со стороны стоматологической отрасли, спрос для электроники, предложение Южной Африки и предложение других стран.

Регрессионная модель цены на платину имеет вид

$$\ln Y_{Pt} = 0,00143 \times X_1 - 0,0000002 \times X_1^2 + 0,00092 \times X_2 - 0,001359 \times X_3 + 4,476,$$

где X_1 – спрос автомобильной промышленности, тыс. Toz; X_2 – вторичное предложение из ювелирной отрасли, тыс. Toz; X_3 – производство в Северной Америке, тыс. Toz.

Регрессионная модель цены на палладий имеет вид

$$Y_{Pd} = 0,38 \times X_1^{0,32} \times X_2^{0,59},$$

где X_1 – вторичное предложение автомобильной промышленности, тыс. Toz; X_2 – спрос со стороны автомобильной промышленности, тыс. Toz.

Таким образом, в рамках моделирования будет выполнен расчет оптимальных объемов реализации в течение двух месяцев исходя из предположений о ценах на металлы платиновой группы, представленных в табл. 4.

Таблица 4 / Table 4

Прогнозные показатели цен на металлы платиновой группы, \$/Toz
Forecast platinum group metals prices, \$/Toz

Металл	Прогноз на первый месяц	Прогноз на второй месяц
Палладий	1600	1550
Платина	920	925
Родий	12 250	12 250

Рассчитано по: [23–25] / Calculated to: [23–25].

Модель совокупных расходов построена по данным публичной консолидированной отчетности и имеет следующий вид:

$$TC = 1999 + 0,2025 \times TR,$$

где TR – совокупная выручка от продажи металлов [26].

Постоянные среднемесячные расходы компании составляют 167 млн долл. США, удельные расходы на единицу выручки равны 0,2025 долл. США.

К неизменяемым параметрам модели относятся показатели выручки от продаж никеля, меди и прочих металлов. Эти параметры определены на основе линейного тренда по открытым историческим данным компании и представлены в табл. 5.

Таблица 5 / Table 5

Прогнозные показатели неизменяемых параметров модели (выручка), млн долл. США
Forecast indicators of unchanged model parameters (revenue), mln USD

Параметр	Прогноз на первый месяц	Прогноз на второй месяц
Никель	283	288
Медь	287	290
Прочие металлы	99	100
Итого выручка от продажи металлов	668	678

Рассчитано по: [27] / Calculated to: [27].

В исследовании допускается, что по металлам, не входящим в периметр оптимизационного моделирования (никель, медь, кобальт и пр.), осуществляется реализация исходя из 100% производства по среднемировым ценам.

В число неизменяемых параметров модели также входит месячный объем производства исследуемых металлов платиновой группы. Для целей моделирования использованы среднеарифметические объемы производства платины, палладия и родия с учетом допустимого двухпроцентного колебания ритмичности ежемесячного производства (табл. 6) [28].

Таблица 6 / Table 6

Прогнозные показатели неизменяемых параметров модели (объем производства), тыс. Toz
Forecast indicators of unchanged model parameters (production volume), th.Toz

Металл	Прогноз в первый месяц	Прогноз во второй месяц
Палладий	232,5	235,0
Платина	54,3	55,0
Родий	4,7	5,0

Рассчитано по: [27] / Calculated to: [27].

В качестве критерия оптимизации выбрана операционная прибыль, ее среднее значение при отсутствии оптимизации и реализации всего объема производства без учета ценовой динамики будет за два месяца равно 1503 млн долл. США.

Ограничения по пропорциям объема производства приняты следующие:

– объем реализации платины в первом периоде может быть равен, но не должен превышать 120% от объема производства, а также может быть равен, но не должен быть меньше 80% от объема производства;



– объем реализации палладия в первом периоде может быть равен, но не должен превышать 130% от объема производства, а также может быть равен, но не должен быть меньше 70% от объема производства;

– объем реализации родия в первом периоде может быть равен, но не должен превышать 115% от объема производства, а также может быть равен, но не должен быть меньше 85% от объема производства.

Обеспечив полноту неизменяемых параметров оптимизационной модели, на следующем этапе моделирования на основе ежемесячных данных о средних, максимальных и минимальных ценах на платину, палладий и родий за последние десять лет был рассчитан доверительный интервал для каждого металла. Полученные максимальные и минимальные колебания цен в каждом периоде, в пределах которых будет использован имитационный метод Монте Карло, представлены в табл. 7.

Таблица 7 / Table 7

Доверительный интервал колебаний цен на металлы платиновой группы, \$/Toz
Price fluctuation confidence interval for platinum group metals, \$/Toz

Металл	Прогноз колебаний цены в первый месяц		Прогноз колебаний цены во второй месяц	
	Минимум (α 0,05)	Максимум (α 0,05)	Минимум (α 0,05)	Максимум (α 0,05)
Палладий	1215	1785	1350	1750
Платина	843	997	842	1008
Родий	10 650	13 850	10 500	14 000

Для запуска имитационного планирования сделаем предположения об объемах реализации в первом и втором периоде исходя из прогнозируе-

мой динамики цен на металлы платиновой группы. В табл. 8 представлены данные о доле продаж и рассчитанных исходя из этих долей объемах.

Таблица 8 / Table 8

Доли и объемы реализации металлов платиновой группы
Platinum group metals sales shares and volumes

Металл	Прогноз в первый месяц		Прогноз во второй месяц	
	Доля, %	Объем, тыс. Toz	Доля, %	Объем, тыс. Toz
Палладий	107	248,8	93	218,7
Платина	93	50,5	107	58,8
Родий	100	4,7	100	5,0

Рассчитано по: [27] / Calculated to: [27].

После того как все входные параметры модели рассчитаны и обоснованы, следует переходить к имитации методом Монте Карло

десяти тысячи различных сценариев. Имитационная матрица первого месяца представлена в табл. 9.

Таблица 9 / Table 9

Имитационная матрица первого месяца прогноза
Simulation matrix of first month forecast

№	Имитация цены, \$/Toz			Выручка от продаж металлов, млн долл. США				Операционные расходы, млн долл. США	Операционная прибыль, млн долл. США
	Pd	Pt	Rh	Pd	Pt	Rh	Всего (включая цветные металлы)		
1	1631	908	11 031	405,8	45,8	51,7	1172	404	768
2	1682	860	10 692	418,4	43,4	50,1	1180	405	775
3	1432	982	12 263	356,2	49,5	57,5	1132	396	736
...
10000	1427	846	12 653	355,0	42,7	59,3	1125	394	731



По результатам имитации первого месяца реализации получены следующие вероятностные характеристики: максимальная операционная прибыль равна 810 млн долл. США, минимальная – 722 млн долл., а ее среднеарифметическое и медианное значение равны 766 млн долл. Стандартное отклонение

составило 21%, коэффициент вариации равен 0,03. Таким образом, доверительный интервал по прибыли (с вероятностью 95%) составил 42 млн долл. США, прибыль под риском равна 5,49%.

Имитационная матрица второго месяца представлена в табл. 10.

Таблица 10 / Table 10

Имитационная матрица второго месяца прогноза
Simulation matrix of second month forecast

№	Имитация цены, \$/Toz			Выручка от продаж металлов, млн долл. США				Операционные расходы, млн долл. США	Операционная прибыль, млн долл. США
	Pd	Pt	Rh	Pd	Pt	Rh	Всего (включая цветные металлы)		
1	1 525	984	10 834	333,5	57,9	54,2	1 124	394	730
2	1 661	965	12 715	363,3	56,7	63,5	1 162	402	760
3	1 468	956	12 859	321,1	56,2	64,3	1 120	393	726
...
10000	1 436	902	13 688	314,1	53,0	68,4	1 114	392	722

По результатам имитации второго месяца реализации получены следующие четыре вероятностных характеристик:

- максимальная операционная прибыль – 781 млн долл. США;
- минимальная операционная прибыль – 692 млн долл. США;
- среднеарифметическое значение прибыли – 737 млн долл. США;
- медианное значение прибыли – 736 млн долл. США;
- стандартное отклонение – 21%;
- коэффициент вариации – 0,03.

Таким образом, доверительный интервал по прибыли (с вероятностью 95%) составил 41 млн долл. США, прибыль под риском равна 5,51%.

На основании консолидирующей суммарной матрицы рассчитаны следующие вероятностные характеристики модели за два прогнозных периода:

- максимальная операционная прибыль – 1587 млн долл. США;
- минимальная операционная прибыль – 1423 млн долл. США;
- среднеарифметическое значение прибыли – 1503 млн долл. США;
- медианное значение прибыли – 1503 млн долл. США;
- стандартное отклонение – 30%;
- коэффициент вариации – 0,02.

В результате доверительный интервал по прибыли (с вероятностью 95%) составил 58 млн долл. США, прибыль под риском равна 3,88%.

На следующем этапе с помощью инструмента Excel Поиск решения методом ОПГ рассчитаем оптимальную долю продаж платины, палладия и родия в первом и втором месяце. Результаты полученных расчетов приведены в табл. 11.

Таблица 11 / Table 11

Результаты оптимизационного моделирования
Optimization modeling results

Параметр	Первый месяц	Второй месяц	Сумма
Доля реализации палладия, %	108,2	91,8	200,0
Доля реализации платины, %	91,4	108,6	200,0
Доля реализации родия, %	105,5	94,5	200,0
Операционная прибыль, млн долл. США	773	732	1505



По итогам моделирования было выявлено, что предположение о реализации платины в первом месяце оказалось близко к оптимальному: исходная доля составила 93%, в то время как рассчитанная доля, необходимая для максимизации прибыли, оказалась на уровне 91,4%. Что касается предположения о реализации палладия, исходная доля реализации была определена как 107,0%, однако оптимальное расчетное значение составило 108,3%. Объем реализации родия в первом месяце скорректировался более существенно: если исходное значение составляло 100,0% производства, то его оптимальное значение было рассчитано как 105,5%. По итогам оптимизации получены следующие вероятностные характеристики за два прогнозных периода:

– максимальная операционная прибыль равна 1583 млн долл. США, что на 5 млн долл. меньше показателя до оптимизации;

– минимальная операционная прибыль увеличилась на 2 млн долл. США и составила 1425 млн долл.;

– среднеарифметическое значение прибыли и ее медианное значение составило 1505 млн долл. США, что на 2 млн долл. больше показателей до оптимизации.

В результате доверительный интервал по прибыли (с вероятностью 95%) увеличился на 1 млн долл. и составил 59 млн долл. США, прибыль под риском (VaR) равна 3,92%.

Результаты

В исследовании теоретически описана и поэтапно реализована оптимизационная модель для расчета объемов реализации платины, палладия и родия в течение двух месяцев для получения максимальной операционной прибыли. Модель основана на регрессионном моделировании цен на металлы платиновой группы, модели расходов, построенной на открытых данных российской горно-металлургической компании. Для модели обоснованы прогнозные неизменяемые параметры и ее ограничения, обеспечивающие приемлемый уровень риск-аппетита.

В результате апробации методики удалось рассчитать доли реализации металлов платиновой группы в двух прогнозных периодах, которые позволили увеличить суммарную прибыль компании приблизительно на 2 млн долл. США. Также стоит отметить практическую значимость исследования для решения тактических задач сбытовых подразделений горно-металлургических компаний.

Методика бизнес-планирования сбыта металлов платиновой группы должна быть направлена на достижение целей горно-металлургических компаний по максимизации прибыли от продаж, в том числе за счет оптимизационной модели, которая позволяет определить объемы реализации продукции в натуральном выражении с учетом производственного плана компании, прогноза цен на металлы, фундаментальных факторов развития рынка и действующих механизмов его функционирования.

Список литературы

1. Степанов И. А. Развитие бизнес-планирования сбыта российских драгоценных металлов в условиях макроэкономической и геополитической нестабильности // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Экономика. Управление. Право. 2023. Т. 23, вып. 2. С. 174–179. <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2023-23-2-174-179>, EDN: MDSXFS
2. Палкина Д. С. Ключевые показатели оценки потенциала крупных предприятий цветной металлургии в России // Проблемы развития территории. 2022. Т. 26, № 4. С. 27–46. <https://doi.org/10.15838/ptd.2022.4.120.3>
3. Чернышев А. И. Металлургическая отрасль экономики России: современные проблемы и перспективы // Теоретическая и прикладная экономика. 2016. № 2. С. 14–19. <https://doi.org/10.7256/2409-8647.2016.2.16557>. URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=16557.html (дата обращения: 30.01.2024).
4. Печенская-Полищук М. А., Малышев М. К. Финансово-экономические аспекты экспортно-импортной деятельности цветной металлургии России за 2013–2020 гг. и направления ее дальнейшего развития // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2022. Т. 15, № 4. С. 102–117. <https://doi.org/10.15838/esc.2022.4.82.7>
5. Степанов И. А. Результаты влияния ограничительных мер на российский рынок драгоценных металлов в 2022 году // Финансовая безопасность. Современное состояние и перспективы развития : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. Международного сетевого института в сфере ПОД/ФТ. М. : НИЯУ «МИФИ», 2022. Т. 2. С. 202–207. EDN: DXOKHW
6. Monden Y., Lee J. How a Japanese auto maker reduces costs // Management Accounting. 1993. Vol. 75, no. 2. P. 22–26.
7. 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



8. Денисенко М. А., Кечин С. А., Пикин М. С. Методы прогнозирования цен на медь // Вестник университета. 2015. № 12. С. 168–172. EDN: VZTCKR
9. Рубашкин Г. В. Прогнозирование объемов продаж промышленных предприятий на основе моделей множественной линейной регрессии // Экономический анализ: теория и практика. 2006. № 8 (65). С. 51–57.
10. Barneson J. Resource planning for a rare metals corporation using mixed integer goal programming and resource planning and management system : Masters Thesis. Oregon State University, 1975. URL: https://ir.library.oregonstate.edu/concern/graduate_thesis_or_dissertations/7d278z13g (дата обращения: 30.01.2024).
11. Siemon M., Schiffer M., Mitra S., Walther G. Value-based production planning in non-ferrous metal industries: Application in the copper industry // IISE Transactions. 2020. Vol. 52, iss. 10. P. 1063–1080. <https://doi.org/10.1080/24725854.2020.1711992>
12. Afflerbach P., Fridgen G., Keller R., Rathgeber A. W., Strobel F. The by-product effect on metal markets – New insights to the price behavior of minor metals // Resources Policy. 2014. Vol. 42(C). P. 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2014.08.003>
13. Pedroso C. B., da Silva A. L., Tate W. L. Sales and Operations Planning (S&OP): Insights from a multi-case study of Brazilian Organizations // International Journal of Production Economics. 2016. Vol. 182. P. 213–229. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.035>
14. Ingham M., Das S., Yadavalli S. Investigating sales and production volumes of gold, PGM, iron ore and manganese using a Bayesian change point detection approach // Competitive Operations Management for Driving Africa Forward : Proceedings of the African Operations Management Conference, 2–4 October 2017. Muldersdrift, Gauteng, South Africa, 2017. P. 91–96.
15. Simatupang T. H., Sunitiyoso Y. Developing the strategy for steel sales by scenario planning approach // Journal of World Science. 2023. Vol. 2, №. 10. P. 1703–1722. <https://doi.org/10.58344/jws.v2i10.452>
16. Степанов И. А. Состояние, перспективы и риски развития рынка металлов платиновой группы в постпандемийной экономике // Угрозы и риски финансовой безопасности в контексте цифровой трансформации : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. Международного сетевого института в сфере ПОД/ФТ. М. : НИЯУ «МИФИ», 2021. С. 700–708. EDN: PFHITX
17. Иванов Д. Д. Анализ тенденций рынка деривативов на ценные металлы // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. № 4–1 (86). С. 172–179. <https://doi.org/10.24412/2411-0450-2022-4-1-172-179>
18. Когденко В. Г. Стратегическое моделирование прибыли компании методом Монте-Карло // Экономический анализ: теория и практика. 2018. Т. 17, вып. 9. С. 1622–1641. <https://doi.org/10.24891/ea.17.9.1622>
19. Степанов И. А. Перспективы и риски сбыта российских драгоценных металлов на примере ПАО «ГМК «Норильский никель» // Материалы III Междуна-
- родного научно-практического форума по экономической безопасности «VIII ВСКЭБ». М. : НИЯУ «МИФИ», 2022. С. 280–285. EDN: EJJUFY
20. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году». Москва, 2021. URL: <https://gd2021.data-geo.ru/pmd/pt/> (дата обращения: 30.01.2024).
21. 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: 31.01.2024).
22. Садриева А. М., Файзуллина Э. Ф., Голубина В. В. Оценка конкурентоспособности промышленного предприятия (на примере ПАО «ГМК «Норильский никель»») // Весенние дни науки : сб. докл. Междунар. конф. студентов и молодых ученых (Екатеринбург, 20–22 апреля 2023 г.). Екатеринбург : УрФУ, 2023. С. 1466–1471.
23. Precious Metals Forecast 2023 // Heraeus. URL: https://www.heraeus.com/en/hpm/company/hpm_news/2022_hpm_news/precious_forecast_2023.html (дата обращения: 30.01.2024).
24. Precious Metal Prices // LBMA. URL: <https://www.lbma.org.uk/prices-and-data/precious-metal-prices#/> (дата обращения: 30.01.2024).
25. PGM prices and trading // Johnson Matthey. URL: <https://matthey.com/products-and-markets/pgms-and-circularity/pgm-management/> (дата обращения: 30.01.2024).
26. Когденко В. Г. Методика финансового моделирования на основе публикуемой консолидированной отчетности // Экономический анализ: теория и практика. 2017. № 7 (466). С. 1269–1285. <https://doi.org/10.24891/ea.16.7.1269>, EDN: ZBONIT
27. Годовой отчет ПАО «ГМК «Норильский никель» за 2017–2022 г. // ПАО «ГМК «Норильский никель» : [сайт]. URL: <https://www.nornickel.ru/investors/reports-and-results/annual-reports/> (дата обращения: 30.01.2024).
28. Костовецкая Л. А., Косухин Р. З., Шварц М. А. Анализ производственно-хозяйственной деятельности горных предприятий. М. : Недра, 1991. 208 с.

References

1. Stepanov I. A. Development of business planning of Russian precious metals sales in conditions of macroeconomic and geopolitical instability. *Izvestiya of Saratov University. Economics. Management. Law*, 2023, vol. 23, iss. 2, pp. 174–179 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2023-23-2-174-179>, EDN: MDSXFS
2. Palkina D. C. Key indicators for assessing potential of large non-ferrous metallurgy enterprises in Russia. *Problems of Territory's Development*, vol. 26, no. 4, pp. 27–46 (in Russian). <https://doi.org/10.15838/ptd.2022.4.120.3>



3. Chernyshev A. I. Metallurgical industry of the Russian economy: modern problems and prospects. *Theoretical and Applied Economics*, 2016, no. 2, pp. 14–19 (in Russian). <https://doi.org/10.7256/2409-8647.2016.2.16557>. Available at: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=16557.html (accessed January 30, 2024).
4. Pechenskaya-Polischuk M. A., Malyshev M. K. Financial and economic aspects of export-import activity of Russia's non-ferrous metallurgy for 2013–2020 and its further development trends. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 2022, vol. 15, iss. 4, pp. 102–117 (in Russian). <https://doi.org/10.15838/esc.2022.4.82.7>
5. Stepanov I. A. Results of the impact of restrictive measures on the Russian market of precious metals in 2022. *Finansovaya bezopasnost'. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya* [Financial Security. Current State and Prospects of Development. Materials VIII International scientific and practical conference International Network Institute in the field of AML/CFT]. Moscow, NRNU MEPhi Publ., 2022, vol. 2, pp. 202–207 (in Russian). EDN: DXOKHW
6. Monden Y., Lee J. How a Japanese auto maker reduces costs. *Management Accounting*, 1993, vol. 75, no. 2, pp. 22–26.
7. Stepanov I. A. Analysis of the influence of factors on the market of platinum group metals in 2022. *Innovatsionnye mekhanizmy upravleniya tsifrovoy i regional'noy ekonomikoy* [Innovative Mechanisms of Digital and Regional Economy Management. Proceedings of the V International Student Scientific Conference. Moscow, NRNU MEPhi Publ., 2023, pp. 16–28 (in Russian). EDN: TGRMJQ
8. Denisenko M. A., Kechin S. A., Pikin M. S. Copper price production methods. *Vestnik Universiteta*, 2015, no. 12, pp. 168–172 (in Russian). EDN: VZTCKR
9. Rubashkin G. V. Forecasting of sales volumes of industrial enterprises based on multiple linear regression models. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2006, no. 8 (65), pp. 51–57 (in Russian).
10. Barneson J. *Resource planning for a rare metals corporation using mixed integer goal programming and resource planning and management system*. Masters Thesis. Oregon State University, 1975. Available at: <https://ir.library.oregonstate.edu/concern/graduate-thesis-or-dissertations/7d278z13g> (accessed January 30, 2024).
11. Siemon M., Schiffer M., Mitra S., Walther G. Value-based production planning in non-ferrous metal industries: Application in the copper industry. *IISE Transactions*, 2020, vol. 52, iss. 10, pp. 1063–1080. <https://doi.org/10.1080/24725854.2020.1711992>
12. Afflerbach P., Fridgen G., Keller R., Rathgeber A. W., Strobel F. The by-product effect on metal markets – New insights to the price behavior of minor metals. *Resources Policy*, 2014, vol. 42(C), pp. 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2014.08.003>
13. Pedroso C. B., da Silva A. L., Tate W. L. Sales and Operations Planning (S&OP): Insights from a multi-case study of Brazilian Organizations. *International Journal of Production Economics*, 2016, vol. 182, pp. 213–229. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.035>
14. Ingham M., Das S., Yadavalli S. Investigating sales and production volumes of gold, PGM, iron ore and manganese using a Bayesian change point detection approach. In: *Competitive Operations Management for Driving Africa Forward. Proceedings of the African Operations Management Conference, 2–4 October 2017*. Muldersdrift, Gauteng, South Africa, 2017, pp. 91–96.
15. Simatupang T. H., Sunitiyoso Y. Developing The Strategy for Steel Sales by Scenario Planning Approach. *Journal of World Science*, 2023, vol. 2, iss. 10, pp. 1703–1722. <https://doi.org/10.58344/jws.v2i10.452>
16. Stepanov I. A. State, prospects and risks of development of the platinum group metals market in the postpandemic economy. *Ugrozy i riski finansovoy bezopasnosti v kontekste tsifrovoy transformatsii* [Financial Security Threats and Risks in the Context of Digital Transformation. Materials of the VII International scientific and practical conference International Network Institute in the field of AML/CFT]. Moscow, NRNU MEPhi Publ., 2021, pp. 700–708 (in Russian). EDN: PFHITX
17. Ivanov D. D. Analysis of trends in the market of derivatives for valuable metals. *Journal of Economics and Business*, 2022, vol. 4–1 (86), pp. 172–179 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2411-0450-2022-4-1-172-179>
18. Kogdenko V. G. Strategic modeling of company profits under the Monte Carlo method. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2018, vol. 17, iss. 9, pp. 1622–1641 (in Russian). <https://doi.org/10.24891/ea.17.9.1622>
19. Stepanov I. A. Prospects and risks of sales of Russian precious metals on the example of PJSC “MMC Norilsk Nickel”. *Materialy III Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma po ekonomicheskoy bezopasnosti «VIII VSKEB»* [Materials of the III International Scientific and Practical Forum on Economic Security “VIII VSKEB”]. Moscow, NRNU MEPhi Publ., 2022, pp. 280–285 (in Russian). EDN: EJJUFY
20. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'yevykh resursov Rossiyskoy Federatsii v 2021 godu»*. Moskva, 2021 (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 January 30, 2024) (in Russian).
21. 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 January 30, 2024).
22. Sadrieva A. M., Faizullina E. F., Golubina V. V. Assessment of the competitiveness of an industrial enterprise (on the example of PJSC MMC Norilsk Nickel). In: *Vesenniye dni nauki* [Spring Days of Science. Collection of reports of the International Conference of Students



- and Young Scientists (Ekaterinburg, April 20–22, 2023)]. Ekaterinburg, Ural Federal University Publ., 2023, pp. 1466–1471 (in Russian).
23. Precious Metals Forecast 2023. *Heraeus*. Available at: https://www.heraeus.com/en/hpm/company/hpm_news/2022_hpm_news/precious_forecast_2023.html (accessed January 30, 2024).
24. Precious Metal Prices. *LBMA*. Available at: <https://www.lbma.org.uk/prices-and-data/precious-metal-prices/> (accessed January 30, 2024).
25. PGM prices and trading. *Johnson Matthey*. Available at: <https://matthey.com/products-and-markets/pgms-and-circularity/pgm-management/> (accessed January 30, 2024).
26. Kogdenko V. G. A methodology for financial modeling based on published consolidated financial statements. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2017, no. 7 (466), pp. 1269–1285 (in Russian). <https://doi.org/10.24891/ea.16.7.1269>, EDN: ZBOHIT
27. Annual Report of PJSC MMC Norilsk Nickel for 2017–2022. *PJSC MMC Norilsk Nickel*. Site. Available at: <https://www.nornickel.ru/investors/reports-and-results/annual-reports/> (accessed January 30, 2024) (in Russian).
28. Kostovetskaya L. A., Kosukhkin R. Z., Shvarts M. A. *Analiz proizvodstvenno-khozyaystvennoy deyatel'nosti gornykh predpriyatiy* [Analysis of production and economic activity of mining enterprises]. Moscow, Nedra, 1991. 208 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 23.02.2024; одобрена после рецензирования 28.02.2024; принята к публикации 10.03.2024
The article was submitted 23.02.2024; approved after reviewing 28.02.2024; accepted for publication 10.03.2024