



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-1-116-122>
УДК 543.39:665.081

Поступила 06.02.2025
Received 06.02.2025

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ СПРОСА, ДОБЫЧИ, СТОИМОСТИ НА СВИНЕЦ, ОЛОВО И ХРОМ

А. С. ПАНАСЮГИН, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: nemenenok@bntu.by

Н. П. МАШЕРОВА, Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь, ул. Свердлова, 13а

И. А. ПАНКОВЕЦ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37

С. В. МАРЦЕВА, Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь, ул. Свердлова, 13а

Н. Д. ПАВЛОВСКИЙ, Гродненский государственный медицинский университет, г. Гродно, Беларусь, ул. Горького, 80

Развитие электроники и технологий производств электронных устройств, включая смартфоны, компьютеры и электромобили, значительно повышает спрос на определенные металлы. Так, около половины мирового олова используется в производстве припоев, соответственно увеличение числа потребителей электроники влечет рост цен на олово. Следует отметить, что при существующих способах переработки свинца не обращают внимания на основные примеси, входящие в состав металла, такие, как мышьяк, селен, теллур, висмут, сурьма, серебро, медь, никель, цинк и олово. Вместе с тем, они являются достаточно ценной продукцией, поскольку их извлечение в ходе вторичной переработки свинца экономически более выгодно, чем получение из рудных материалов. Добавление хрома в процессе производства стали повышает ее коррозионную стойкость. Эти сплавы известны как нержавеющая сталь, на долю которой приходится большая часть коммерческого использования металлического хрома. Другим основным направлением является гальваническое покрытие хромом (хромирование). В связи с введением санкций и ростом цен на хром и нержавеющую сталь ряда 20X13–40X13, применяемые при производстве медицинского оборудования и метизов, запорной арматуры для нефтегазовой промышленности, остро встает вопрос использования внутренних ресурсов Республики Беларусь. Из приведенных в статье данных видно, что за 2020–2023 гг. цены на олово выросли в 25,4–46,4 раза, свинец – в 1,28–2,90 раза, а за 2016–2023 гг. на хром – в 2,08–31,90 раза.

Ключевые слова. Анализ динамики изменения спроса, добычи, стоимости, Sn, Pb, Cr.

Для цитирования. Немененок, Б. М. Анализ динамики изменения спроса, добычи, стоимости на свинец, олово и хром / Б. М. Немененок, А. С. Панасюгин, Н. П. Машерова, И. А. Панковец, С. В. Марцева, Н. Д. Павловский // Литейное и металлургическое производство. 2025. № 1. С. 116–122. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-1-116-122>.

ANALYZING THE DYNAMICS OF CHANGES IN DEMAND, PRODUCTION AND COST FOR LEAD, TIN AND CHROMIUM

A. S. PANASYUGIN, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: nemenenok@bntu.by

N. P. MASHEROVA, Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus, 13a, Sverdlova str.

I. A. PANKOVETS, OJSC “BSW – Management Company of Holding “BMC”, Zhlobin, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str.

S. V. MARTSEVA, Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus, 13a, Sverdlova str.

N. D. PAVLOVSKY, Grodno State Medical University, Grodno, Belarus, 80, Gorky str.

Developments in electronics and electronic device manufacturing technologies including smartphones, computers and electric cars are significantly affecting demand. About half of the world's tin is used in the production of solder, and the increasing number of consumers of electronics is driving up tin prices. It should be noted that the existing methods of lead recycling do not pay attention to the main impurities in the composition of the metal, which include arsenic, selenium, tellurium, bismuth, antimony, silver, copper, nickel, zinc and tin. However, they are valuable products in their own right, as their recovery during lead recycling is much more cost-effective than their extraction from ore materials. The addition of chromium in the steel manufacturing process is known to increase the corrosion resistance of steel. These steel alloys are known as stainless steel, which accounts for most of the commercial use of metallic chromium. Chromium electroplating, commonly known as chromium plating, is the other

major application of chromium. In connection with the sanctions and rising prices for chromium and stainless steels of the 20X13–40X13 range used in the production of medical, food equipment and hardware, stop valves for the oil and gas industry, the issue of using domestic resources of the Republic of Belarus is acute. From the above data, it can be seen that over the period from 2020 to 2023, Sn prices have increased by 25.4 to 46.4 times, Pb by 1.28 to 2.9 times, Cr the period from the period from 2016 to 2023 by 2,08 to 31,9 times.

Keywords. Analysis of dynamics of changes in demand, production, cost, Sn, Pb, Cr.

For citation. Nemenenok B. M., Panasyugin A. S., Masherova N. P., Pankovets I. A., Martseva S. V., Pavlovsky N. D. Analyzing the dynamics of changes in demand, production, and cost for lead, tin and chromium. Foundry production and metallurgy, 2025, no. 1, pp. 116–122. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-1-116-122>.

Динамика увеличения спроса на олово

В настоящее время отмечается устойчивый рост спроса на олово для производства электроники и возобновляемых источников энергии. Спрос на более экологичные бессвинцовые припои продолжает повышаться на фоне расширения производства электромобилей и солнечных панелей, где олово используется для соединения микросхем и антикоррозийного покрытия.

Китай, крупнейший потребитель олова, продемонстрировал рост спроса в сфере бытовой техники и смартфонов, что также поддерживает высокую потребность в олове и соответственно ведет к повышению цен.

Рынок олова очень небольшой, поэтому колебание цен крайне высоко, что подтверждают аналитики товарных рынков отдела глобальных исследований компании «Открытие Инвестиции». Цены на металл с марта 2020 г. выросли в 2,5 раза, установив исторический максимум на уровне 36 797 тыс. долл. за тонну. Запасы олова на биржевых складах опустились до минимального значения за последние 10 лет. Резкое падение запасов металла наблюдается с начала 2019 г., но в целом с 2011 г. запасы упали примерно в 23 раза, что свидетельствует о жестком дефиците на рынке.

Примерно половину спроса на олово составляет припой, используемый в основном в электронной промышленности для соединения компонентов. В 2021 г. спрос быстро повышался именно благодаря росту сектора электроники. Дефицит же предложения усугубился в 2020 г. на фоне карантинных ограничений и разрушения глобальных цепочек поставок. В 2020 г. поставки олова в мире упали на 8% – до 327,2 тыс. т, в результате чего возник дефицит в размере 15 тыс. т. Производители продали из запасов 10 тыс. т, оставив рынок с реальным дефицитом 5 тыс. т [1, 2].

Основной проблемой цен на олово является то, что ограничение потребления электроэнергии китайскими предприятиями сильнее влияет на спрос, чем на предложение. На рис. 1, 2 приведены данные по динамике изменения цен на олово за 2020–2023 гг. [3, 4].

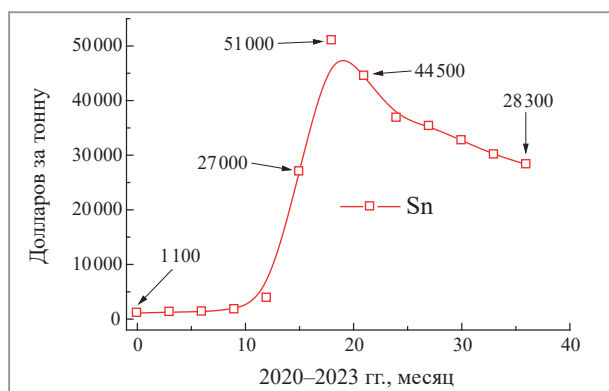


Рис. 1. Динамика изменения цен на олово за 2020–2023 гг. в абсолютных значениях [5]

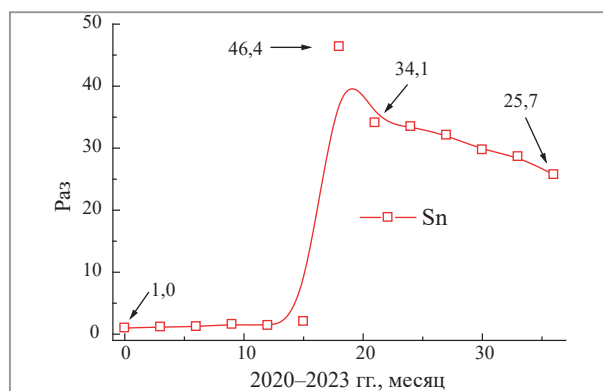


Рис. 2. Динамика изменения цен на олово за 2020–2023 гг. в относительных значениях [6, 7]

Динамика увеличения спроса на свинец

Содержание свинца высокой чистоты 99,99% оценено более чем в 7 млрд. т в 2018 г. Свинец широко используется в нескольких отраслях, включая производство и строительство, наружную рекламу, звукоизоляцию, защиту от рентгеновских лучей и др. Чистые свинцовые слитки производят из переплавленных слитков, сырых слитков и свинцовых отходов пирометаллургическим процессом. Свинец высокой чистоты обычно поставляют первичные ведущие компании, владеющие около 40% мирового производства.

По прогнозам увеличение соответствующих мощностей и возможностей по переработке свинца повысит спрос на 96 % [8, 9].

Однако при существующих подходах к переработке свинца на основные примеси, найденные в смеси с металлом, такие, как мышьяк, селен, теллур, висмут, сурьма, серебро, медь, никель, цинк и олово, как правило, мало обращают внимания. Вместе с тем, они сами по себе имеют ценность, поскольку их извлечение в ходе вторичной переработки свинца экономически целесообразнее, чем получение из рудных материалов. Более того, основное различие между первичным и вторичным получаемым свинцом заключается в том, что переработчики не удаляют примеси серебра и висмута в процессе вторичной переработки. Поскольку более 60 % мирового производства свинца приходится на вторичное (переработка) рафинирование, его доля доминирует над классами высокой чистоты [10–12].

Постоянное расширение строительной инфраструктуры, поддерживаемое государственными инвестициями, а также быстрое развитие коммерческих объектов в странах с развивающейся экономикой будут способствовать росту спроса на строительную деятельность. Металл используется для изготовления тонких свинцовых листов, в основном применяемых в качестве строительного материала в химической и других смежных отраслях. Другие широко используемые отрасли включают строительство зданий с защитой от радиоактивных излучений, излучений в радиочастотном диапазоне, создание экранов от обнаружения объектов тепловизорами и устройствами, работающими на других принципах, а также звукоизоляцию. Кроме того, быстро растущий сектор услуг наряду с внедрением новой производственной базы в развивающихся странах будет еще больше дополнять перспективы развития отраслей. На рис. 3, 4 приведены данные по динамике изменения цен на свинец за 2020–2023 гг. [13, 14].

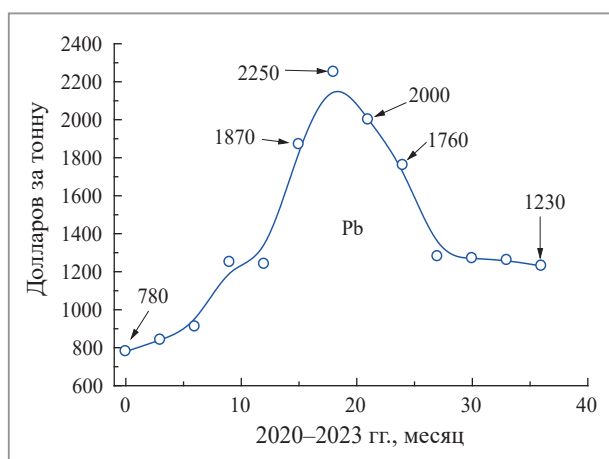


Рис. 3. Динамика изменения цен на свинец за 2020–2023 гг. в абсолютных значениях [15]

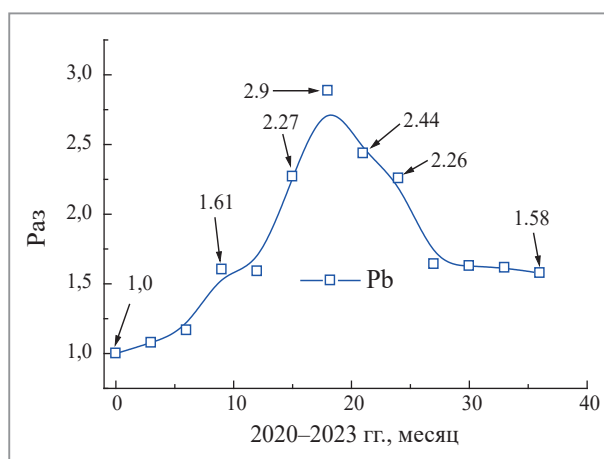


Рис. 4. Динамика изменения цен на свинец за 2020–2023 гг. в относительных значениях [16]

Динамика увеличения спроса на хром

По оценкам и расчетам, проведенным группой анализа рынков MetalResearch, мировой рынок хрома показал заметное восстановление продаж во втором квартале 2023 г. Аналитики оценивают это изменение в +30,4 % по отношению к первому кварталу того же года. Но не все так однозначно. Если в первом квартале 2022 г. объем продаж на рынке хрома оценивался в 193 599 тыс. долл., то уже во втором квартале 2023 г. – в 178 179 тыс. долл. Динамика изменений за полтора года показала снижение на 8,0 %. При этом получилось, что за период 2022 г. – второй квартал 2023 г. самый низкий показатель продаж был в первом квартале 2023 г., а рекордно высокий – во втором квартале 2022 г. [17, 18].

Сравнение шести месяцев 2023 и 2022 гг. наиболее показательно с точки зрения понимания изменений, произошедших на рынке хрома, пока данные за полный 2023 г. не появились. За этот период аналитики MetalResearch оценили изменение объема продаж на рынке хрома как –24,9 % до уровня 314 842 тыс. долл. Конечно, если сравнивать в натуральном выражении, то показатель продаж хрома будет другой, как может быть и другая динамика. Однако более иллюстрирующая динамика наблюдается именно в денежном выражении, поскольку этот показатель оценивает количество денежных средств, оборачивающихся на данном рынке.

Доли стран-поставщиков на рынке хрома меняются ежеквартально, не говоря уже о ежегодном изменении. Также меняется и их рейтинг. Согласно данным MetalResearch за второй квартал 2023 г., первые

места (без учета России) занимают Нидерланды с долей 22,45%, Франция – 21,32, Китай – 18,24%. В числе других заметных стран-поставщиков – Великобритания, США, Германия, Бельгия, Испания, Япония, Индия и др. Среди поставщиков хрома аналитики увидели и Россию, однако исследование по ней предоставляется только при заказе анализа рынка. В настоящей статье Россия не включена в общие показатели [19, 20].

Коррозионную стойкость стали можно повысить путем добавления хрома. Эти стальные сплавы известны как нержавеющая сталь, на долю которой приходится большая часть коммерческого использования металлического хрома. Гальваническое покрытие хромом (хромирование) является другим основным видом применения металла [21].

В связи с введением санкций и ростом цен на хром и нержавеющие стали ряда 20X13–40X13, применяемые при производстве медицинского, пищевого оборудования и метизов, запорной арматуры для нефтегазовой промышленности, остро встает вопрос использования внутренних ресурсов Республики Беларусь.

В совокупности на эти два вида применения приходится около 85% мирового производства хрома. Остальная часть коммерческого использования приходится на химическую, литейную и огнеупорную промышленность [10, 22].

Общий объем добычи хромовой руды в 2019 г. составил 44 млн. метрических тонн. Ее концентрация в земной коре в значительной степени зависит от определенного ряда геологических процессов. В результате всего на несколько стран приходится подавляющая часть производства хрома. Вместе Южная Африка, Турция, Казахстан, Индия и Финляндия производят почти 90% мирового объема (рис. 5–8).

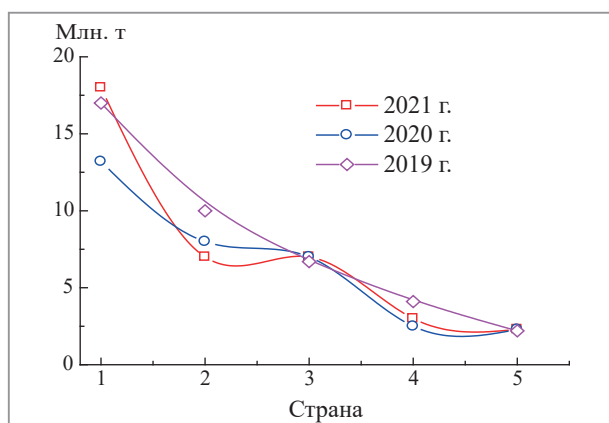


Рис. 5. Динамика изменения уровня добычи хрома за 2019–2021 гг. в абсолютных значениях:
1 – Южная Африка; 2 – Турция; 3 – Казахстан;
4 – Индия; 5 – Финляндия [11]

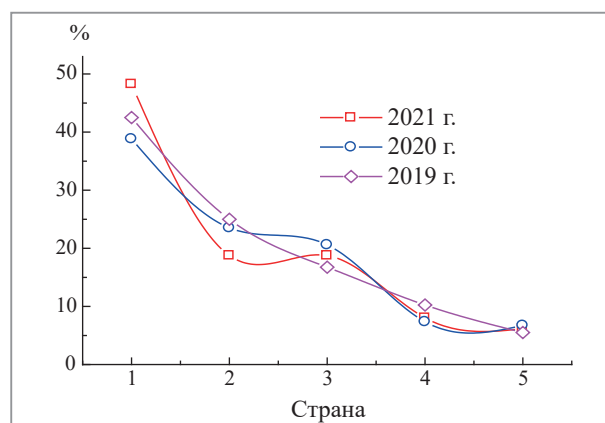


Рис. 6. Динамика изменения уровня добычи хрома за 2019–2021 гг. в относительных значениях:
1 – Южная Африка; 2 – Турция; 3 – Казахстан;
4 – Индия; 5 – Финляндия [23]

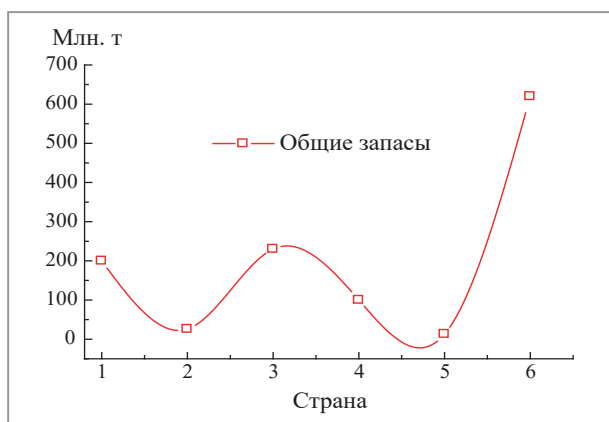


Рис. 7. Запасы хрома в абсолютных значениях:
1 – Южная Африка; 2 – Турция; 3 – Казахстан;
4 – Индия; 5 – Финляндия; 6 – США [24]

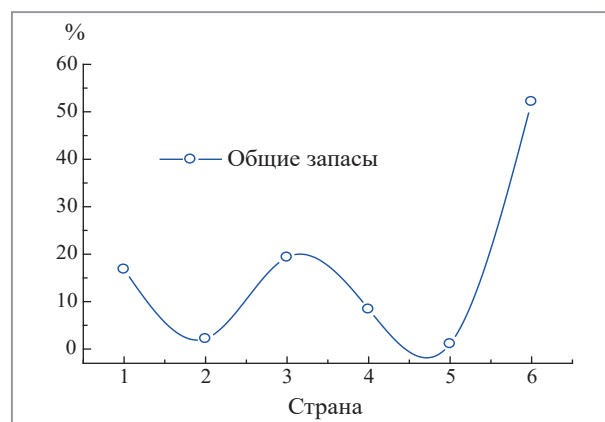


Рис. 8. Запасы хрома в относительных значениях:
1 – Южная Африка; 2 – Турция; 3 – Казахстан;
4 – Индия; 5 – Финляндия; 6 – США [25]

За 2016–2023 гг. разница между максимальной и минимальной ценой на хром на мировом рынке, по данным Infogeo.ru, составила 4850 долл., или 65,5%. Динамика цен на хром представлена на рис. 9–12.

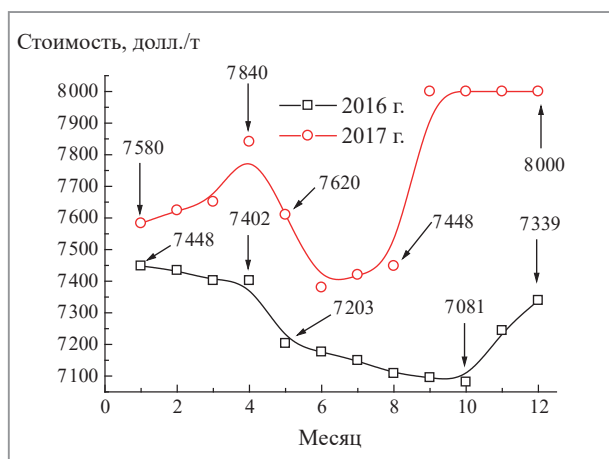


Рис. 9. Динамика изменения цен на хром за 2016–2017 гг. в абсолютных значениях [19]

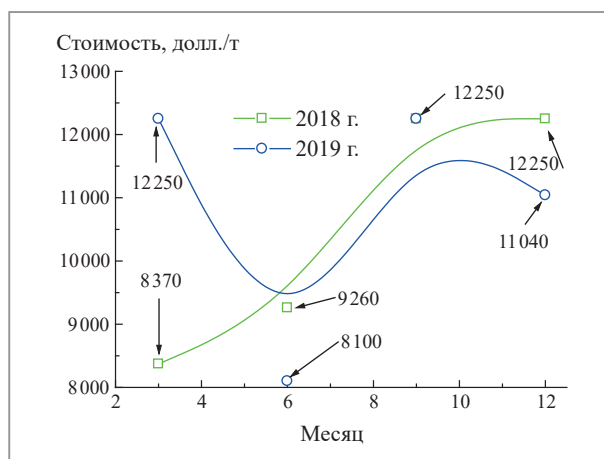


Рис. 10. Динамика изменения цен на хром за 2018–2019 гг. в абсолютных значениях [18]

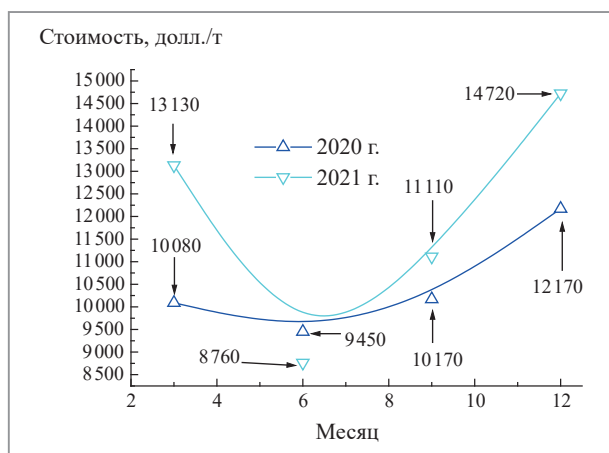


Рис. 11. Динамика изменения цен на хром за 2020–2021 гг. в абсолютных значениях [17]

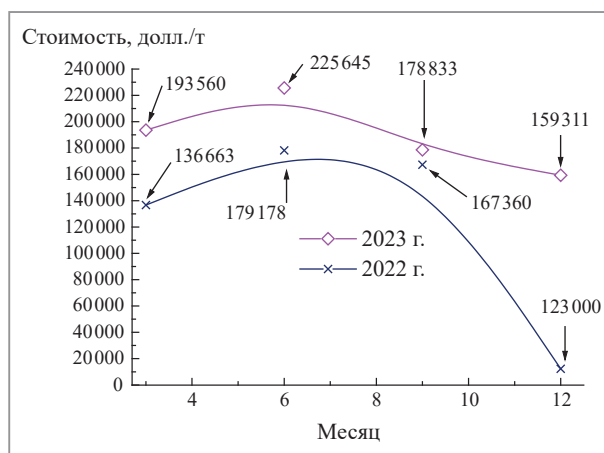


Рис. 12. Динамика изменения цен на хром за 2022–2023 гг. в абсолютных значениях [19]

Причины повышения спроса на олово, свинец, хром

К основным причинам повышения спроса на олово, свинец, хром относятся:

- 1) выработка наиболее богатых месторождений руд данных металлов;
- 2) большое рассеивание по планете даже бедных месторождений, что очень сильно влияет на экономические составляющие процессов добычи;
- 3) ограниченность запасов руд данных материалов;
- 4) значительное увеличение объемов производства изделий, где используются материалы, содержащие как чистые металлы, так и их соединения;
- 5) разработка и наращивание выпуска новых изделий, содержащих олово, свинец и хром.

Выводы

1. Развитие электроники и технологий производств электронных устройств, включая смартфоны, компьютеры и электромобили, значительно повышает спрос на определенные металлы. Так, около половины мирового олова используется в производстве припоев, соответственно увеличение числа потребителей электроники влечет рост цен на олово.

2. При существующих способах переработки свинца не обращают внимания на основные примеси, входящие в состав металла, такие, как мышьяк, селен, теллур, висмут, сурьма, серебро, медь, никель, цинк и олово. Вместе с тем, они являются достаточно ценной продукцией, поскольку их извлечение в ходе вторичной переработки свинца экономически более выгодно, чем получение из рудных материалов.

3. Добавления хрома в процессе производства стали повышает ее коррозионную стойкость. Эти стальные сплавы известны как нержавеющая сталь, на долю которой приходится большая часть

коммерческого использования металлического хрома. Гальваническое покрытие хромом, широко известное как хромирование, является другим основным направлением применения хрома.

4. Из приведенных данных видно, что за 2020–2023 гг. цены на Sn выросли в 25,4–46,4 раза, Pb – в 1,28–2,90 раза, а за 2016–2023 гг. на Cr – в 2,08–31,90.

ЛИТЕРАТУРА

1. Палеопротерозойский Федорово-Панский расслоенный ЭПГ-комплекс северо-восточной части Арктического региона Балтийского щита: новые U–Pb (по бадделеиту) и Sm–Nd (по сульфидным минералам) данные / Т.Б. Баянова [и др.] // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2017. – Т. 472. – № 1. – С. 52–56.
2. Распределение P3Э в сульфидных минералах и Sm–Nd датирование рудогенеза расслоенных базитовых интрузий / Н.А. Екимов [и др.] // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2011. – Т. 436, № 1. – С. 75–78.
3. Серов, П.А. Возможности Sm–Nd датирования рудных процессов с использованием сульфидов / П.А. Серов, Н.А. Екимов // Вестник МГТУ. – 2009. – Т. 12. – № 3. – С. 456–460.
4. Сульфидные минералы – новые геохронометры при Sm–Nd датировании рудогенеза расслоенных мафит-ультрамафитовых интрузий Балтийского щита / П.А. Серов [и др.] // Литосфера. – 2014. – № 4. – С. 11–21.
5. Римская-Корсакова, М.Н. Редкоземельные элементы в сульфидах подводных гидротермальных источников Атлантического океана / М.Н. Римская-Корсакова, А.В. Дубинин // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2003. – Т. 389. – № 5. – С. 672–676.
6. Римская-Корсакова, М.Н. Определение P3Э в сульфидных минералах методом ICP-MS после ионообменного концентрирования / М.Н. Римская-Корсакова, А.В. Дубинин, В.М. Иванов // Журнал аналитической химии. – 2003. – Т. 58. – № 9. – С. 975–979.
7. Малосульфидные платинометалльные руды палеопротерозойского Мончегорского плутона и его южного обрамления (Кольский полуостров, Россия): геологическая характеристика и изотопно-геохронологические свидетельства полихронности рудно-магматических систем / В.В. Чашин [и др.] // Геология рудных месторождений. – 2016. – Т. 58. – № 1. – С. 41–63.
8. Gangumalla Srinivasa Rao. Multi-scale potential field data integration using fuzzy C-means clustering for automated geological mapping of north Singhbhum mobile belt, Eastern Indian Craton / Gangumalla Srinivasa Rao Santosh Kumar, Rama Chandrudu Arasada // Minerals. – 2023. – Vol. 13. – iss. 8.
9. Combination of machine learning algorithms with concentration-area fractal method for soil geochemical anomaly detection in sediment-hosted Irankuh Pb–Zn deposit, central Iran / Sasan Farhadi [et al.] // Minerals. – 2022. – № 12.
10. Geochemical characteristics of chlorite in Xiangshan uranium ore field, south China and its exploration implication / Yongjian Wang [et al.] // Minerals. – 2022. – № 12.
11. Application of aster remote sensing data to porphyry copper exploration in the Gondwana region / Chunhui Liu [et al.] // Minerals. – 2023. – № 13.
12. Shi Li. Mineral prospecting prediction via transfer learning based on geological big data: a case study of Huayuan, Hunan, China / Shi Li, Chang Liu, Jianping Chen // Minerals. – 2023. – № 13.
13. Development of a hybrid fixed-wing UAV aeromagnetic survey system and an application study in Chating deposit / Ning Lu [et al.] // Minerals. – 2023. – № 13.
14. Rare earth element geochemistry of hydrothermal deposits from Southwest Indian Ridge / Z. Cao [et al.] // Acta Oceanol. Sin. – 2012. – Vol. 31. – P. 62–69.
15. Zircon melt inclusions in mafic and felsic rocks of the Bushveld Complex – Constraints for zircon crystallization temperatures and partition coefficients / D. Gudelius [et al.] // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2020. – Vol. 289. – P. 158–181.
16. Jiang, S.-Y. Sm–Nd dating of the giant Sullivan Pb–Zn–Ag deposit, British Columbia / S.-Y. Jiang, J.F. Slack, M.R. Palmer // Geology. – 2000. – Vol. 28. – № 8. – P. 751–754.
17. Origin of the ore-forming fluids and metals of the Hetai goldfield in Guangdong Province of South China: Constraints from C–H–O–S–Pb–He–Ar isotopes / Q. Jiao [et al.] // Ore Geol. Rev. – 2017. – Vol. 88. – P. 674–689.
18. Kong, P. REE-bearing sulfide in Bishunpur (LL3.1), a highly unequilibrated ordinary chondrite / P. Kong, E. Deloule, H. Palme // Earth Plan. Sci. Lett. – 2000. – Vol. 177. – P. 1–7.
19. Kotelnikov, A.E. Determination of the copper-nickel ores formation sequence of the Kun-Manye deposit (Amur region) / A.E. Kotelnikov, D.A. Kolmakova, E.M. Kotelnikova // RUDN Journal of Engineering Researches. – 2020. – № 1. – P. 48–57.
20. Fluid inclusion, H–O–S isotope and rare earth element constraints on the mineralization of the Dong'an Sb deposit, South China / H. Li [et al.] // Ore Geol. Rev. – 2020. – Vol. 126. – P. 103–759.
21. Lodders, K. An experimental and theoretical study of rare-earth-element partitioning between sulfides (FeS, CaS) and silicate and applications to enstatite achondrites / K. Lodders // Meteoritics and Planetary Science. – 1996. – Vol. 31. – P. 149–166.
22. Existing forms of REE in gold-bearing pyrite of the Jinshan gold deposit, Jiangxi Province, China / G. Mao [et al.] // J. Rare Earths. – 2009. – Vol. 27. – P. 1079–1087.
23. Mills, R.A. Rare earth element geochemistry of hydrothermal deposits from the active TAG Mound, 26°N Mid-Atlantic Ridge / R.A. Mills, H. Elderfield // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1995. – Vol. 59. – № 17. – P. 3511–3524.
24. Morgan, J.W. Rare earth element distribution in some hydrothermal elements: evidence for crystallographic control / J.W. Morgan, G.A. Wandless // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1980. – Vol. 44. – P. 973–980.
25. Origin and nature of parental magma and sulfide segregation of the Baixintan magmatic Ni–Cu sulfide deposit, southern central Asian orogenic belt (Caob), NW China: Insights from mineral chemistry of chromite and silicate minerals / B. Ruan [et al.] // Minerals. – 2020. – Vol. 10. – P. 1–20.

REFERENCES

1. Bayanova T.B., Rundqvist T.V., Serov P.A., Korchagin A.U., Karpov S.M. Paleoproterozojskij Fedorovo-Panskij rassloenyj EPG-kompleks severo-vostochnoj chasti Arkticheskogo regiona Baltijskogo shchita: novye U–Pb (po baddeleitu) i Sm–Nd

(po sul'fidnym mineralam) dannye [Paleoproterozoic Fedorovo-Pan stratified PGE complex of the north-eastern part of the Arctic region of the Baltic Shield: new U-Pb (for baddeleyite) and Sm-Nd (for sulfide minerals) data]. *Doklady Akademii nauk = Reports of the Academy of Sciences*, 2017, vol. 472, no. 1, pp. 52–56.

2. **Ekimova N.A., Serov P.A., Bayanova T.B., Elizarova I.R., Mitrofanov F.P.** Raspredelenie RZE v sul'fidnykh mineralakh i Sm–Nd datirovanie rudogeneza rassloennykh bazitovykh intruzij [REE distribution in sulfide minerals and Sm–Nd dating of oreogenesis of stratified basite intrusions]. *Doklady Akademii nauk = Reports of the Academy of Sciences*, 2011, vol. 436, no. 1, pp. 75–78.

3. **Serov P.A., Ekimova N.A.** Vozmozhnosti Sm–Nd datirovaniya rudnykh processov s ispol'zovaniem sul'fidov [Opportunities of Sm–Nd dating of ore processes using sulphides]. *Vestnik MSTU = Bulletin of MSTU*, 2009, vol. 12, no. 3, pp. 456–460.

4. **Serov P.A., Ekimova N.A., Bayanova T.B., Mitrofanov F.P.** Sul'fidnye mineraly – novye geohronometry pri Sm–Nd datirovanii rudogeneza rassloennykh mafit-ul'tramafitovykh intruzij Baltijskogo shchita [Sulfide minerals – new geochronometers for Sm–Nd dating of oreogenesis of stratified mafic-ultramafic intrusions of the Baltic Shield]. *Litosfera = Lithosphere*, 2014, no. 4, pp. 11–21.

5. **Rimskaya-Korsakova M.N., Dubinin A.V.** Redkozemel'nye elementy v sul'fidakh podvodnykh gidrotermal'nykh istochnikov Atlanticheskogo okeana [Rare-earth elements in sulfides of submarine hydrothermal vents of the Atlantic Ocean]. *Doklady Akademii nauk = Reports of the Academy of Sciences*, 2003, vol. 389, no. 5, pp. 672–676.

6. **Rimskaya-Korsakova M.N., Dubinin A.V., Ivanov V.M.** Opreделение RZE v sul'fidnykh mineralakh metodom ICP-MS posle ionoobmennogo koncentrirovaniya [Determination of REE in sulfide minerals by ICP-MS after ion-exchange concentration]. *Zhurnal analiticheskoy himii = Journal of Analytical Chemistry*, 2003, vol. 58, no. 9, pp. 975–979.

7. **Chashchin V.V., Bayanova T.B., Mitrofanov F.P., Serov P.A.** Malosul'fidnye platinometal'nye rudy paleoproterozojskogo Monchegorskogo plutona i ego yuzhnogo obramleniya (Kol'skiy poluostrov, Rossiya): geologicheskaya harakteristika i izotopno-geohronologicheskie svidetel'stva polihronnosti rudno-magmatischeskikh sistem [Low-sulfide platinometallic ores of the Paleoproterozoic Monchegorsk pluton and its southern frame (Kola Peninsula, Russia): geological characterisation and isotope-geochronological evidence of polychrony of ore-magmatic systems]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenij = Geology of ore deposits*, 2016, vol. 58, no. 1, pp. 41–63.

8. **Gangumalla Srinivasa Rao, Santosh Kumar, Rama Chandrudu Arasada.** Multi-scale potential field data integration using fuzzy C-means clustering for automated geological mapping of north Singhbhum mobile belt, Eastern Indian Craton. *Minerals*, 2023, vol. 13, iss. 8.

9. **Sasan Farhadi, Peyman Afzal, Mina Boveiri Konari, Lili Daneshvar Saein, Behnam Sadeghi.** Combination of machine learning algorithms with concentration-area fractal method for soil geochemical anomaly detection in sediment-hosted Irankuh Pb–Zn deposit, central Iran. *Minerals*, 2022, no. 12.

10. **Yongjian Wang, Honghai Fan, Yaqing Pang, Wei Xiao.** Geochemical characteristics of chlorite in Xiangshan uranium ore field, south China and its exploration implication. *Minerals*, 2022, no. 12.

11. **Chunhui Liu, Chunxia Qiu, Luoqi Wang, Jie Feng, Sensen Wu, Yuanyuan Wang.** Application of aster remote sensing data to porphyry copper exploration in the Gondwana region. *Minerals*, 2023, no. 13.

12. **Shi Li, Chang Liu and Jianping Chen.** Mineral prospecting prediction via transfer learning based on geological big data: a case study of Huayuan, Hunan, China. *Minerals*, 2023, no. 13.

13. **Ning Lu, Yongzai Xi, Hongshan Zheng, Weidong Gao, Yongbo Li, Yu Liu, Zhiqiang Cui, Guixiang Liao, Junjie Liu.** Development of a hybrid fixed-wing UAV aeromagnetic survey system and an application study in Chating deposit. *Minerals*, 2023, vol. 13.

14. **Cao Z., Cao H., Tao C., Li J., Yu Z., Shu L.** Rare earth element geochemistry of hydrothermal deposits from Southwest Indian Ridge. *Acta Oceanol. Sin.*, 2012, vol. 31, pp. 62–69.

15. **Gudelius D., Zeh A., Almeev R.R., Wilson A.H., Fischer L.A., Schmitt A.K.** Zircon melt inclusions in mafic and felsic rocks of the Bushveld Complex – Constraints for zircon crystallization temperatures and partition coefficients. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2020, vol. 289, pp. 158–181.

16. **Jiang S.-Y., Slack J.F., Palmer M.R.** Sm–Nd dating of the giant Sullivan Pb–Zn–Ag deposit, British Columbia. *Geology*, 2000, vol. 28, no. 8, pp. 751–754.

17. **Jiao Q., Wang L., Deng T., Xu D., Chen G., Yu D., Ye T., Gao Y.** Origin of the ore-forming fluids and metals of the Hetai gold-field in Guangdong Province of South China: Constraints from C–H–O–S–Pb–He–Ar isotopes. *Ore Geol. Rev.*, 2017, vol. 88, pp. 674–689.

18. **Kong P., Deloule E., Palme H.** REE-bearing sulfide in Bishunpur (LL3.1), a highly unequilibrated ordinary chondrite. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 2000, vol. 177, pp. 1–7.

19. **Kotelnikov A.E., Kolmakova D.A., Kotelnikova E.M.** Determination of the copper-nickel ores formation sequence of the Kun-Manye deposit (Amur region). *RUDN Journal of Engineering Researches*, 2020, no. 1, pp. 48–57.

20. **Li H., Kong H., Guo B.-Y., Soh Tamehe L., Zhang Q., Wu Q.-H., Xi X.-S.** Fluid inclusion, H–O–S isotope and rare earth element constraints on the mineralization of the Dong'an Sb deposit, South China. *Ore Geol. Rev.*, 2020, vol. 126, pp. 103–759.

21. **Lodders K.** An experimental and theoretical study of rare-earth-element partitioning between sulfides (FeS, CaS) and silicate and applications to enstatite achondrites. *Meteoritics and Planetary Science*, 1996, vol. 31, pp. 149–166.

22. **Mao G., Hua R., Gao J., Li W., Zhao K., Long G., Lu H.** Existing forms of REE in gold-bearing pyrite of the Jinshan gold deposit, Jiangxi Province, China. *J. Rare Earths*, 2009, vol. 27, pp. 1079–1087.

23. **Mills R.A., Elderfield H.** Rare earth element geochemistry of hydrothermal deposits from the active TAG Mound, 26°N Mid-Atlantic Ridge. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1995, vol. 59, no. 17, pp. 3511–3524.

24. **Morgan J.W., Wandless G.A.** Rare earth element distribution in some hydrothermal elements: evidence for crystallographic control. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1980, vol. 44, pp. 973–980.

25. **Ruan B., Liao M., Sun B., Chen C.** Origin and nature of parental magma and sulfide segregation of the Baixintan magmatic Ni–Cu sulfide deposit, southern central Asian orogenic belt (Caob), NW China: Insights from mineral chemistry of chromite and silicate minerals. *Minerals*, 2020, vol. 10, pp. 1–20.