

Оценка перспектив рационального освоения ресурсов железомарганцевых конкреций дна Мирового океана в контексте эволюции мировых рынков меди, никеля, кобальта и марганца

Assessment of potential efficient development of the World ocean ferromanganese nodules in the context of global copper, nickel, cobalt and manganese market evolution

**Лаптева А. М., Мустафа Т. С.,
Смольникова А. В., Чернова А. Д.**

**Lapteva A. M., Mustafa T. S.,
Smolnikova A. V., Chernova A. D.**

Приведены результаты анализа возможных последствий добычи железомарганцевых конкреций (ЖМК) и производства из них меди, никеля, кобальта и марганца. Рассмотрены возможные сценарии развития потребления, наземного производства и перспективы развития сырьевых баз указанных металлов до 2035 г. Показано, что в этот период на рынках каждого из рассматриваемых металлов ожидается дефицит предложения, который может быть компенсирован за счёт глубоководного производства. Однако условия и сроки возникновения дефицита разных металлов сильно отличаются. В результате при совпадении начала добычи ЖМК с наиболее ранними проявлениями дефицита на остальных рынках возникнет профицит, что негативно повлияет не только на наземные производства и проекты освоения новых месторождений и проведения ГРП, но и снизит рентабельность самой глубоководной добычи вплоть до перехода её в категорию нерентабельной. Добыча ЖМК с извлечением из них меди, никеля, кобальта и марганца может быть осуществлена без негативных последствий для всех участников рынка не ранее 2030 г.

Ключевые слова: медь, никель, кобальт, марганцевые руды, железомарганцевые конкреции, потребление, производство, глубоководная добыча, проекты освоения, прогноз.

The paper analyzes implications of ferromanganese nodule mining and copper, nickel, cobalt and manganese production for their land-based producers. Potential scenarios are considered for consumption development, onshore production and long-term development of these metals' mineral bases through 2035. It is shown that each metal market could be undersupplied over this period; this shortage can be offset by deepsea production. However, conditions and deficit emergence for various metals vary greatly. As a result, coincidence of nodule mining with the earliest deficit signs in the remaining markets will lead to oversupply, which will negatively affect onshore production, new mining and exploration projects; this will also reduce profitability of deepsea mining even making it uneconomic. It is not until 2030 that nodule mining involving copper, nickel, cobalt and manganese production can be implemented with no negative effects for market players.

Keywords: copper, nickel, cobalt, manganese ores, ferromanganese nodules, consumption, production, deep-sea mining, development project, forecast.

Для цитирования: Лаптева А. М., Мустафа Т. С., Смольникова А. В., Чернова А. Д. Оценка перспектив рационального освоения ресурсов железомарганцевых конкреций дна Мирового океана в контексте эволюции мировых рынков меди, никеля, кобальта и марганца. Руды и металлы. 2021. № 1. С. 6–25. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10001.

For citation: Lapteva A. M., Mustafa T. S., Smolnikova A. V., Chernova A. D. Assessment of potential efficient development of the World ocean ferromanganese nodules in the context of global copper, nickel, cobalt and manganese market evolution. Ores and metals, 2021, № 1, pp. 6–25. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10001.



Статистические данные о производственных показателях мировой горнорудной промышленности однозначно свидетельствуют о нарастающей нагрузке на минерально-сырьевую базу Земли. По оценкам Геологической службы США [20], за весь XX век мировое производство товарных железных руд составило 43,1 млрд т, а за 2000–2015 гг. – 25,9 млрд т. Для марганцевых руд в пересчёте на металл эти показатели составили 433,3 и 198,2 млн т соответственно, для меди – 396,4 и 251,2 млн т, никеля – 34,8 и 28,6 млн т. Добыча бокситов и кобальта в период с 2000 по 2015 г. практически достигла показателей предыдущих 100 лет: для бокситов она составила 3,35 против 3,42 млрд т за 1900–1999 гг., для кобальта – 1,31 против 1,34 млн т.

Интенсификация добычи твёрдых полезных ископаемых (ТПИ) обусловила ускоренное истощение разрабатываемых месторождений, сокращение числа невовлечённых в эксплуатацию объектов, расположенных в районах традиционной добычи или в легко доступных регионах, привела к снижению качества добываемых руд. Однако благодаря прогрессирующему развитию технологической базы как в сфере использования минеральных ресурсов, так и в сфере геологоразведки (ГРП) количественного сокращения ресурсов подавляющего большинства ТПИ не происходит (табл. 1). Это позволяет с уверенностью говорить о том, что истощение сырьевых баз промышленных металлов является весьма отдалённой перспективой. Тем не менее, работы по определению источников металлического сырья для будущего активно ведутся уже достаточно давно, чему также содействует технологический прогресс. В первую очередь в таком качестве рассматриваются минеральные ресурсы дна Мирового океана: железомарганцевые конкреции (ЖМК), из-за сложности состава также называемые полиметаллическими, кобальтоносные железомарганцевые корки и глубоководные полиметаллические сульфиды.

С точки зрения перспектив промышленной добычи на первом месте стоят ЖМК. И хотя пока трудно прогнозировать, когда начнётся их

1. Выявленные ресурсы некоторых промышленных металлов в 1995 и 2015 гг. и суммарное горное производство этих металлов за 1995–2015 гг. (по данным Геологической службы США)

1. Identified resources of some economic metals in 1995 and 2015 and their cumulative mine production for 1995–2020

Полезное ископаемое	Выявленные ресурсы		Суммарное горное производство за 1995–2015 гг.
	1995 г.	2015 г.	
Железные руды, млрд т	> 800	> 800	31,0
Бокситы, млрд т	> 55	> 55	4,0
Медь, млрд т	1,6	2,1	0,3
Никель, млн т	130*	130*	34
Кобальт, млн т	11	25	1,5

*Ресурсы, содержащие не менее 1 % никеля.

разработка и с какой интенсивностью она будет вестись, уже есть первая компания (бельгийская Global Sea Mineral Resources), заявившая о готовности приступить к ней в 2027 г. [14]. Со временем число таких компаний может расти: если сейчас разведку ЖМК ведут 18 компаний-контракторов, то в ближайшие 10–15 лет часть из них может начать производство [24].

Имеется несколько экономических моделей глубоководной добычи ЖМК [22]. Все они предполагают, что по одному эксплуатационному контракту будет добываться 3 млн т конкреций, из которых будут извлекаться медь, никель, кобальт и марганец, но принятые в разных моделях содержания полезных компонентов в ЖМК и показатели их извлечения несколько отличаются. В табл. 2 приведены указанные характеристики, использованные в модели Массачусетского технологического

2. Качественные характеристики ЖМК и потенциальный уровень производства заключённых в них металлов при ведении добычи 2, 6 или 12 компаниями-контракторами, по [22, 23]

2. Quality nodule characteristics and potential production of contained metals by 2, 6 or 12 contractors, after [22, 23]

	Содержание компонента, %	Извлечение компонента, %	Количество извлекаемых металлов, тыс. т/год		
			2 компании / 6 млн т ЖМК	6 компаний / 18 млн т ЖМК	12 компаний / 36 млн т ЖМК
Медь	1,1	90	59,4	178,2	356,4
Никель	1,3	95	74,1	222,3	444,6
Кобальт	0,2	85	10,2	30,6	61,2
Марганец	28,4	90	1533,6	4600,8	9201,6

института (США), согласно которой наиболее целесообразно при переработке ЖМК использовать аммиачное выщелачивание [23], а также потенциальный уровень производства указанных металлов при ведении добычи разным количеством контракторов [24].

Как видно из табл. 2, глубоководная добыча может оказаться весьма значительной, что вызывает озабоченность в странах-производителях (прежде всего, в развивающихся странах) и делает принципиально важным вопрос: «Будет ли способен мировой рынок поглотить дополнительные количества металлов, извлекаемых из конкреций, без негативных последствий для традиционных производителей?». Сам факт его появления и активного обсуждения обусловлен одним из ключевых положений Конвенции ООН по морскому праву [1]: «Деятельность в Районе¹ осуществляется... таким образом, чтобы способствовать здоровому развитию мировой экономики и сбалансированному росту международной торговли и содействовать международному сотрудничеству для всестороннего развития всех стран, особенно развивающихся государств, и с целью обеспечения [...] содействия справедливым и устойчивым, выгодным для производителей и справедливым для потребителей ценам на

¹ «Район» – дно морей и океанов и его недра за пределами национальной юрисдикции [1].

полезные ископаемые, добываемые как в Районе, так и из других источников, и содействия долгосрочному равновесию между спросом и предложением, [...] защиты развивающихся государств от отрицательных последствий для их экономики или для их экспортных поступлений, возникающих в результате снижения цены на соответствующий вид полезных ископаемых или уменьшения объёма экспорта такого вида полезных ископаемых в той мере, в какой такое снижение или уменьшение вызвано деятельностью в Районе».

Для ответа на этот вопрос была выполнена оценка потенциального соотношения между спросом и предложением меди, никеля, кобальта и марганца, которое сложится к началу морской добычи и будет сохраняться в последующие годы; горизонтом прогнозирования выбран 2035 г. [24]. При этом необходимо иметь в виду, что при оценках потенциальных потребления и производства на средне- или долгосрочную перспективу могут быть учтены только некие установившиеся и достаточно чётко проявленные тенденции или реализуемые долгосрочные планы или программы (как международные, так и национальные) в отношении производящих или потребляющих отраслей. Но многие факторы в силу их непредвиденности учтены быть не могут. Они могут быть как глобального характера (например, в целом неожиданно развернувшееся



острое торговое противостояние между США и Китаем или пандемия коронавирусной инфекции COVID-19), так и регионального или даже локального (например, природные или техногенные катастрофы).

Методика исследования. В качестве источников информации о потенциальном спросе на рассматриваемые металлы выступили прогнозы потребления, подготовленные и опубликованные исследовательскими группами, международными организациями и некоторыми заинтересованными компаниями. В силу многовариантности имеющихся прогнозов был использован сценарный подход: из всего их многообразия выбирались минимальный, максимальный и средний (базовый).

Потенциальное предложение оценивалось исходя из возможного наземного горного производства рассматриваемых металлов в период до 2035 г. Оно включает две составляющие: производство на действующих рудниках и производство, которое могут обеспечить реализуемые проекты освоения новых месторождений. В ходе выполнения анализа были обобщены данные о ресурсах и производстве (фактическом и потенциальном) по более чем 300 действующим и проектируемым рудникам меди, более чем 150 рудникам никеля, более чем 90 рудникам кобальта и почти 90 рудникам и их группам марганца.

В качестве ожидаемого производства на действующих рудниках взято фактическое производство в 2018 г. с учётом проектов расширения их мощностей (если таковые имеются). При этом учитывалась обеспеченность предприятий ресурсами. Таким образом были выявлены рудники, которые в рассматриваемый период могут прекратить функционирование из-за полного исчерпания ресурсной базы (перспективы её расширения за счёт ГРП и, соответственно, возможное продление срока их жизни не учитывались). Основными источниками информации для этого послужили отчёты горнодобывающих компаний и/или проекты, представляемые этими компаниями.

Поскольку для большинства стран отсутствуют открытые данные по всем действующим

там рудникам, для получения максимально полной картины недостающие объёмы производства учитывались на основании данных официальной государственной и/или отраслевой статистики. Это касалось прежде всего Китая, а также ряда других стран, таких как Демократическая Республика Конго и страны Латинской Америки. Статистические данные также привлекались для мелких стран-производителей. При учёте этой части добычи также делалось допущение, что она сохранится на уровне 2018 г.

При оценке производства на месторождениях, на базе которых реализуются проекты освоения, учитывались проектное производство и ожидаемые сроки ввода в эксплуатацию. Если официальные данные о сроках начала производства отсутствовали, они оценивались исходя из стадии реализации проектов. Здесь также учитывался возможный срок жизни предприятий, определяемый по соотношению их проектной мощности и ресурсной базы.

Все рассмотренные проекты по перспективам начала производства разделены на две категории: «ожидаемые» (находящиеся на стадии строительства или имеющие окончательное технико-экономическое обоснование) и «возможные» (имеющие предварительное технико-экономическое обоснование). Кроме того, принимались во внимание разного рода сложности, возникающие при реализации проектов (для меди это обусловило необходимость выделения категории «приостановленные проекты»).

При оценке потенциального предложения также учитывались возможные объёмы производства вторичных металлов, получаемых в результате переработки лома.

Сопоставление сценариев роста потребления рассматриваемых металлов с перспективами наземной добычи позволили оценить возможное соотношение спроса и предложения в период до 2035 г.

Влияние пандемии коронавирусной инфекции COVID-19 на будущее рассматриваемых металлов не учитывалось.

Результаты и обсуждение. Медь. На сегодняшний день имеется значительное количе-

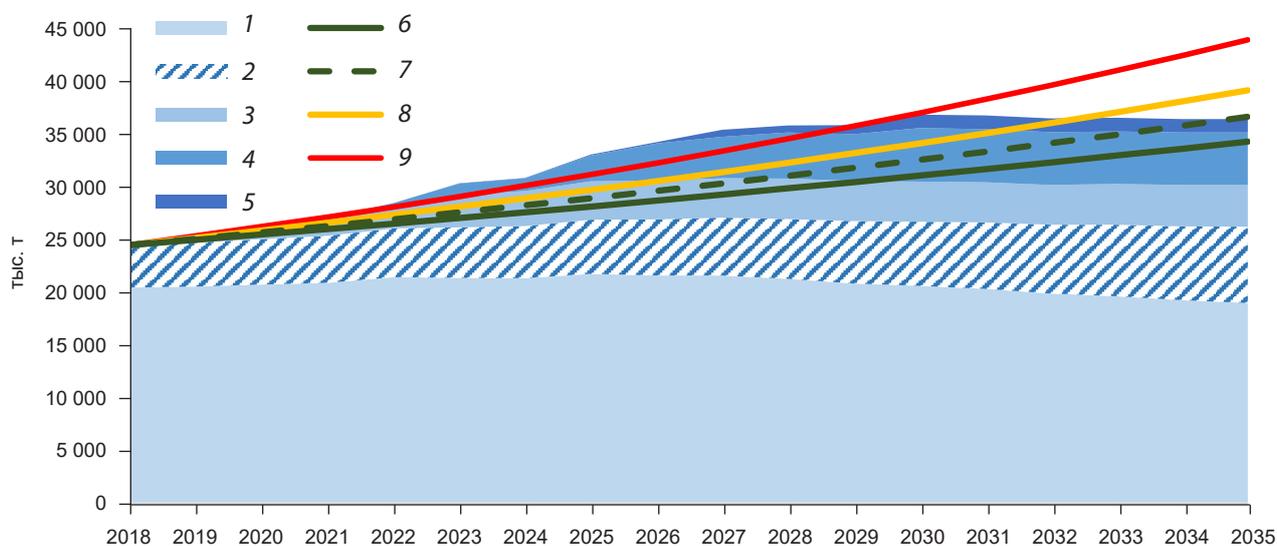


Рис. 1. Возможные сценарии роста производства и потребления меди до 2035 г., тыс. т:

1 – действующие рудники; 2 – производство вторичной меди; 3 – «ожидаемые» проекты; 4 – «возможные» проекты; 5 – «приостановленные» проекты; сценарии потребления меди: 6 – рост на 2 % в год, 7 – рост на 2,4 % в год, 8 – рост на 2,8 % в год, 9 – рост на 3,5 % в год

Fig. 1. Potential scenarios of copper production and consumption growth until 2035, kt:

1 – operating mines; 2 – secondary copper production; 3 – “expected” projects; 4 – “possible” projects; 5 – “suspended” projects; copper consumption scenarios: 6 – 2%/year growth, 7 – 2.4%/year growth, 8 – 2.8%/year growth, 9 – 3.5%/year growth

ство прогнозов потребления меди. В их основе лежат ожидаемые темпы роста мирового ВВП и численности населения, развитие «зелёных технологий», переход на возобновляемые источники энергии, выполнение условий Парижского соглашения о регулировании мер по снижению содержания углекислого газа в атмосфере, принятого в 2015 г. (одной из его основных целей является ограничение роста средней температуры на планете на 2 °C по отношению к показателям доиндустриальной эпохи, а по возможности снижение её до 1,5 °C), и прочие факторы. Однако при всём многообразии этих прогнозов ожидаемые темпы роста потребления меди варьируют в сравнительно узких пределах – от 1,8 до 4 % в год. На основании анализа имеющихся вариантов и с учётом скорости роста спроса на медь в последние 10 лет нами были выбраны три сценария (рис. 1):

1. Подразумевает рост мирового потребления на 2 % в год. Соответствует прогнозам консалтинговых агентств Roskill [10], McKinsey Global Institute [5] и др. [12, 31];

2. Соответствует среднегодовому показателю за 2007–2018 гг., составившему 2,8 %. Аналогичный или близкий годовой рост подразумевают прогнозы DBS Group, Fitch Solutions и исследовательских групп из США и Нидерландов [9, 12, 31];

3. Предполагает рост потребления меди на 3,5 % в год, что соответствует сценариям исследовательских групп из США и Нидерландов, а также темпам роста потребления меди в 2010–2018 гг.

Согласно проведённому анализу, к 2035 г. производство меди ныне действующими рудниками может сократиться на 7 % относительно уровня 2018 г. из-за полного исчерпания ресурсной базы некоторых из них. В то же вре-



мя ожидаемый рост производства вторичной меди может полностью компенсировать выбывающие мощности. Ввод в строй основной части «ожидаемых» и «возможных» проектов освоения месторождений меди ожидается с 2025 г., а в 2035 г. они могут обеспечить выпуск 4 и 5 млн т меди в год соответственно. «Приостановленные» проекты (если работы на них возобновятся) могут добавить ещё около 1,3 млн т меди в год. Результатом ввода в эксплуатацию всех реализуемых и приостановленных проектов станет увеличение выпуска рудничной меди примерно на 50 % относительно уровня 2018 г. – примерно до 30 млн т; этот показатель прироста может быть достигнут в 2027 г. и будет сохраняться до конца всего рассматриваемого интервала времени. Выявленные ресурсы (identified resources) меди, локализованные на суше, по оценкам Геологической службы США составляют 2,1 млрд т [28], что с учётом технологических потерь при добыче и переработке руд достаточно для обеспечения такого производства в течение примерно 60 лет. Так называемые невыявленные ресурсы (undiscovered resources) суши, оцениваемые в 3,5 млрд т, увеличивают этот срок ещё примерно на 100 лет. Таким образом, наземная сырьевая база меди (с учётом имеющегося потенциала её прироста) в состоянии не только поддерживать в течение длительного периода времени уровень производства, который может быть достигнут в 2030-е годы, но и обеспечить его дальнейшее наращивание.

При годовом росте мирового потребления меди на 2 % и реализации всех «ожидаемых» и «возможных» проектов предпосылки для возникновения дефицита отсутствуют (при таком развитии проектов бездефицитность будет сохраняться при росте потребления не более чем на 2,4 % в год), при этом высока вероятность перенасыщения рынка металлом, особенно в период между 2025 и 2033 г. (см. рис. 1). Это может привести к падению цен на медь и обострению конкуренции между её производителями, что повлечёт за собой сокращение производства (прежде всего за счёт закрытия наименее эффективных предприятий) и при-

остановку или перенос сроков реализации проектов освоения новых месторождений. Однако если часть «возможных» проектов не будет введена в строй в ожидаемые сроки, то с 2030 г. могут возникнуть трудности с обеспечением спроса на медь даже при умеренном росте мирового потребления.

Если среднегодовые темпы роста потребления составят около 2,8 %, угроза дефицита может возникнуть даже в случае запуска всех проектов, но после 2032 г. Причём в зависимости от успешности реализации проектов в 2035 г. дефицит металла на рынке может составить от 3 (если в эксплуатацию будут введены все проекты, включая «приостановленные») до 13 млн т (если будут введены только «ожидаемые» проекты).

При темпах роста потребления меди в 3,5 % в год рынок может стать дефицитным после 2030 г., а если ввод в части «возможных» проектов будет задерживаться, а «приостановленные» проекты останутся неактивными – уже в 2024–2025 гг. В 2035 г. рыночный дефицит может составить 7,5–18 млн т меди. В то же время ожидания столь значительного дефицита, безусловно, вызовут волнения на рынке и рост цен на металл, что станет мощным стимулом для инвестиций в освоение новых месторождений меди, а также в геологоразведочные работы на неё. В связи с этим мы считаем маловероятной задержку ныне реализуемых проектов и полагаем, что «приостановленные» проекты будут активизированы. Кроме того, на фоне развивающегося дефицита ещё больше возрастёт интерес ко вторичным ресурсам. В результате дефицит может сформироваться на рынке позже и принципиально меньшим, чем сейчас можно ожидать. Также нельзя исключить такие темпы развития сырьевой базы меди, которые предупредят дефицит.

Итак, говорить об угрозе возникновения дефицита, который не смогут покрыть действующие и проектируемые медные рудники, можно только при условии среднегодового роста потребления меди более чем на 2,4 % в год. При этом опыт предыдущих лет показывает, что среднегодовые темпы роста потребления на уровне 3,5 % не являются аномальными и

вполне могут быть обеспечены адекватным производством на базе традиционных источников.

Ожидаемое производство меди из ЖМК не будет значительным: даже при его максимальном уровне (см. табл. 2) оно будет соответствовать менее чем 2 % текущего рудничного производства. А если учесть ввод в эксплуатацию существующих наземных проектов, эта доля будет ещё меньше. Формально для мирового рынка такой прирост будет мало заметен, однако реальный эффект от него будет определяться реальным соотношением спроса и предложения, который сложится на рынке к этому моменту. При его сбалансированности даже малая порция дополнительного металла может повлечь за собой негативные последствия, такие как падение цен и обострение конкуренции среди горных предприятий. При дефицитности поставок влияние этого дополнительного металла будет зависеть от масштаба дефицита: если он будет соответствовать цифрам, вытекающим из наших оценок, «глубоководная» медь покроет лишь малую его часть.

Никель. Основные перспективы роста потребления никеля связывают с наращиванием электрификации автотранспорта и производством аккумуляторных батарей повышенной ёмкости. Оценки роста спроса никеля в производстве аккумуляторов сильно разнятся, варьируя от 4- до 14-кратного увеличения к 2030 г., что обусловлено невозможностью определить наиболее вероятное развитие ситуации по ряду ключевых направлений. К основным факторам, влияние которых экспертами оценивается по-разному, прежде всего относятся вопросы, связанные с перспективами использования конкретных типов аккумуляторных батарей и преобладающего типа электромобилей, от которых зависит доля использования того или иного металла.

Что касается будущего спроса со стороны производителей нержавеющей стали, являющихся традиционными потребителями никеля, то, согласно единому мнению всех экспертов, он сохранит устойчивый рост. При этом оценки темпов его роста также сильно разнятся: Roskill предполагает его увеличение к

2030 г. на 40 %, а Wood Mackenzie – только на 20 % [16, 19].

На основании анализа имеющихся прогнозов роста потребления нами были выбраны сценарии роста потребления никеля (рис. 2):

1. Соответствует прогнозу Wood Mackenzie и предполагает ежегодный рост мирового спроса на 2,6 %; это самые низкие темпы роста из рассмотренных нами прогнозов;

2. Соответствует прогнозу агентства Roskill и предполагает рост мирового спроса в среднем на 4 % в год; он в целом соответствует среднему значению прогнозируемых большинством аналитических агентств темпов роста потребления;

3. Соответствует прогнозу BloombergNEF [6] и предполагает наиболее быстрые темпы роста спроса, составляющие 5 % в год.

Заметим, что в 2010–2018 гг. среднегодовой прирост потребления никеля находился на уровне 7,2 %. Практически единственной причиной столь быстрого роста стало бурное развитие никелепотребляющих отраслей промышленности Китая.

Согласно проведённому анализу к 2035 г. производство никеля на действующих предприятиях в связи с истощением их ресурсной базы может сократиться на 2 % относительно уровня 2018 г. из-за полного исчерпания месторождений, на базе которых они функционируют.

Добыча на «ожидаемых» проектах могла начаться уже в 2020 г., а к 2035 г. их совокупное производство может достичь почти 350 тыс. т никеля в год. «Возможные» проекты могут вводиться в эксплуатацию с 2024 г. К концу рассматриваемого периода совокупная добыча на них может составить ещё около 400 тыс. т металла в год. Результатом ввода в эксплуатацию всех известных проектов будет не только компенсация выбывающего производства на действующих рудниках, но и его значительный прирост: в 2028–2031 гг. производство никеля может превысить уровень 2018 г. примерно на 45 % (составит около 3,2 млн т), а в 2035 г. (с учётом выбывания некоторых предприятий) – почти на треть (составит 2,9 млн т). Ресурсы никеля, выявленные на суше, оцени-

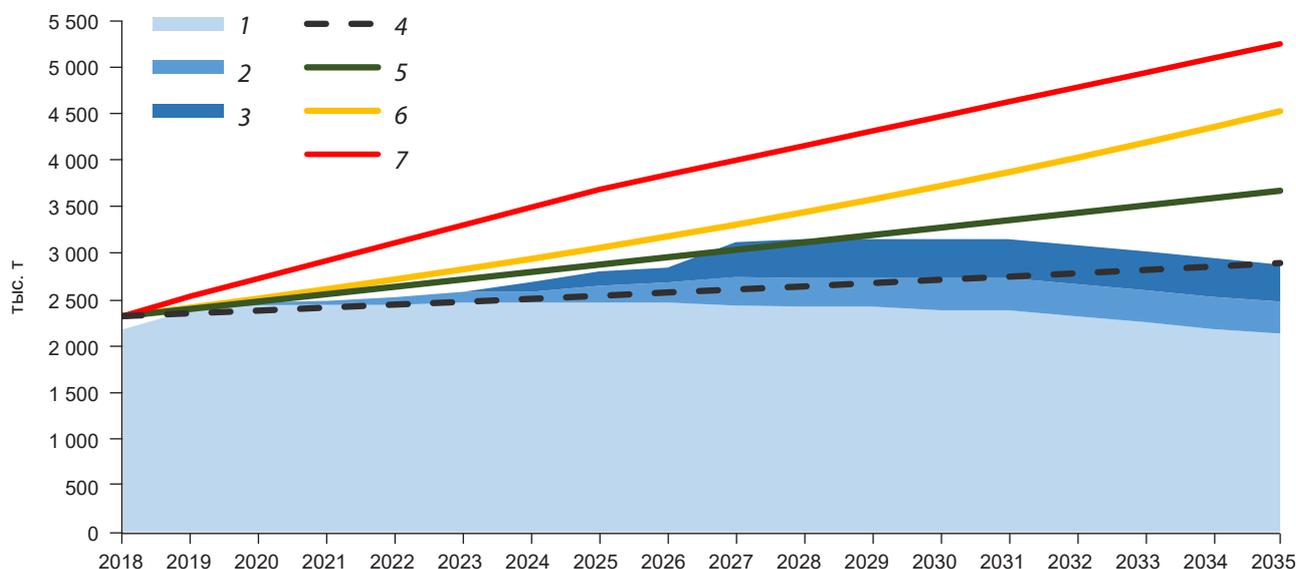


Рис. 2. Возможные сценарии роста производства и потребления никеля до 2035 г., тыс. т:

1 – действующие рудники; 2 – «ожидаемые» проекты; 3 – «возможные» проекты; сценарии потребления никеля: 4 – рост на 1,3 % в год, 5 – рост на 2,6 % в год, 6 – рост на 4 % в год, 7 – рост на 5 % в год

Fig. 2. Potential scenarios of nickel production and consumption growth until 2035, kt:

1 – operating mines; 2 – “expected” projects; 3 – “possible” projects; nickel consumption scenarios: 4 – 1.3%/year growth, 5 – 2.6%/year growth, 6 – 4%/year growth, 7 – 5%/year growth

ваются примерно в 300 млн т [29] (причём авторы этой оценки подчёркивают, что они продолжают устойчиво расти), что с учётом технологических потерь при добыче и переработке руд достаточно для поддержания максимального ожидаемого уровня производства на протяжении примерно 85–88 лет.

При росте потребления на 2,6 % в год рынок будет близок к сбалансированному состоянию до 2029 г., а в дальнейшем может сформироваться дефицит первичного металла. При этом возможная нехватка металла лишь после 2032 г. превысит текущий дефицит (стабильно бездефицитным рынок будет при росте потребления на среднегодовом уровне в 1,3 %, однако при таком развитии ситуации ввод в эксплуатацию большинства «возможных» проектов, скорее всего, будет перенесён на более поздние сроки). Необходимо отметить, что нами не учитываются складские запасы бирж и частных компаний, а также вторичный ме-

талл, для производства которого имеются перспективы роста (в первую очередь за счёт отработанных аккумуляторных батарей). Поэтому в реальности дефицит на рынке никеля может проявиться позже и/или оказаться существенно ниже.

При реализации двух других сценариев роста потребления никеля, несмотря на значительное увеличение его производства, рынок может испытывать дефицит металла на протяжении всего рассматриваемого интервала времени. Причём даже при успешной реализации всех текущих проектов этот дефицит может в 2035 г. составить около 2,4 млн т, что превышает текущее производство. Ожидание этого может привести к значительному росту цен на металл, что создаст условия для активизации работ по подготовке к эксплуатации известных, но пока неактивных месторождений, как это уже было в первой половине 2000-х гг. В этом отношении весьма перспек-

тивны месторождения латеритных руд, освоение которых не требует больших затрат времени и сравнительно дёшево. Кроме того, в последние годы наблюдается значительный рост расходов на проведение ГРП на никель. По данным S&P Global, только за 2019 г. затраты на них выросли по сравнению с предыдущим годом почти на 54 млн долл. – до 351,6 млн долл. [30]. Можно ожидать, что за выявлением новых объектов (особенно с качественным оруденением) последует их экстренное освоение, что быстро скажется на реальном рыночном балансе.

Итак, только при росте потребления никеля на уровне, не превышающем 1,3 % в год на протяжении всего рассматриваемого периода, рынок может сохранять стабильную бездефицитность. При более высоких темпах роста потребления, если не появятся новые проекты освоения никелевых месторождений, дефицит неизбежен. Отличие сценариев будет заключаться только в сроках его наступления и объёмах. При этом опыт предыдущих лет показывает, что среднегодовые темпы роста потребления, превышающие 5 % в год, не являются аномальными и могут быть обеспечены адекватным производством на базе традиционных источников (как это произошло в период после 2009 г.).

Производство никеля из ЖМК может оказаться заметным для рынка: при его минимальном ожидаемом уровне оно будет соответствовать примерно 3–3,5 % текущего рудничного производства, а при максимальном – 20 % (см. табл. 2). Последствия выхода на рынок «глубоководного» металла будут зависеть от наличия дефицита и его размеров. Как показано выше, есть вероятность того, что дефицит будет значительным и даже может превысить всё текущее производство. Тогда никель из ЖМК окажет позитивное влияние на ситуацию. Но также не исключено, что выход этого металла на рынок повлечёт за собой негативные последствия для наземных производителей – сокращение дефицита или ослабление угрозы его формирования могут повлечь за собой снижение цен на металл, а это, безусловно, скажется на экономическом положе-

нии добывающих предприятий и инвестиционной привлекательности проектов освоения никелевых месторождений и ГРП на никель.

Кобальт. Перспективы потребления кобальта связывают исключительно с сектором литий-ионных батарей, прежде всего для электротранспорта, а также стационарных батарей и батарей для электронных устройств. При этом целый ряд факторов риска (среди которых волатильность цен и опасения недостаточности поставок) обусловили изменения в химическом составе таких батарей, суть которых в снижении содержания кобальта вплоть до полного отказа от него. Так, применяемые в электронике литий-кобальтовые аккумуляторы (LCO), содержащие 60 % кобальта, постепенно заменяются на никель-марганец-кобальтовые (NMC) с содержанием кобальта 10–30 %, литий-никель-кобальт-алюминий-оксидные (NCA) с 14 % кобальта – на литий-феррофосфатные (LFP), в которых кобальт не содержится. Отказ от кобальта наблюдается и в батареях для электротранспорта, хотя он обеспечивает их оптимальную производительность. Считается, что после 2020 г. будут более востребованы батареи с меньшими содержаниями кобальта и более высокими – никеля и алюминия [4].

Таким образом, все прогнозы в отношении мирового потребления кобальта в будущем основаны на темпах развития электротранспорта. Множественность целевых уровней роста парка электромобилей определила разнообразие прогнозов, согласно которым потребление кобальта уже в 2030 г. может составить 320–535 [4, 13] против 125 тыс. т в 2018 г.

Для проведения анализа в качестве минимального и максимального нами были выбраны два сценария, разработанных International Energy Agency (IEA) [4]:

1. Подразумевает рост мирового потребления на 5,6 % в год (IEA считает его наиболее оптимальным). Согласно допущениям, сделанным в этом сценарии, в 2030 г. парк электромобилей составит 56 млн единиц, а мировой спрос на кобальт не превысит 241,5 тыс. т;

2. Подразумевает рост мирового потребления на 8,8 % в год, что примерно соответству-



ет темпам роста в 2010–2018 гг. (составляли 8,7 % в год). Данный сценарий предусматривает показатели, необходимые для достижения целей Парижского соглашения, принятого в 2015 г., а именно расширение глобального парка электромобилей до 20 % от общего парка автотранспорта, используемого к 2030 г. Это означает, что в 2030 г. должно использоваться 110 млн электромобилей и 400 млн электрических двухколёсных транспортных средств, что обусловит достижение мировым потреблением кобальта в указанном году уровня в 344 тыс. т.

В качестве третьего сценария нами взято среднее (между указанными) значение прироста потребления, составляющее 7,2 % в год. При этом отметим, что среди прогнозов IEA есть более экстремальные, предполагающие рост потребления на 11 и 12,9 % в год.

Важнейшая особенность кобальта, отличающая его от всех прочих рассматриваемых металлов и оказывающая принципиальное влияние на перспективы производства, состоит в том, что его добыча в основном ведётся попутно с медью (из стратиформных месторождений Центральной Африки) и никелем (из сульфидных кобальт-медно-никелевых руд и кобальт-никелевых латеритов). По оценкам аналитической компании CRU Group, в 2016 г. около 61 % произведённого кобальта было получено при добыче меди, 37 % – при добыче никеля [3] (с тех пор ситуация не изменилась). Единственный в мире собственно кобальтовый рудник, действующий на базе месторождения Бу-Азер в Марокко, обеспечивает всего около 2 % мирового производства. В результате динамика производства кобальта коррелируется с динамикой добычи меди и никеля из месторождений определённых типов, а не с динамикой спроса на металл.

Согласно проведённому анализу, производство кобальта на действующих рудниках к 2035 г. может сократиться на 23 % из-за истощения ресурсной базы некоторых из них. В то же время возможный рост производства вторичного кобальта (примерно в 2 раза к 2035 г.) может сделать это сокращение не таким резким (рис. 3). Ввод в эксплуатацию «ожидае-

мых» и «возможных» проектов может начаться с 2021 г., и к 2035 г. они могут обеспечить производство 58 и 17 тыс. т кобальта в год соответственно. В результате в 2025–2032 гг. мировой показатель может превысить уровень 2018 г. на 47–52 % (более 200 тыс. т металла в год против 137 тыс. т.), а в 2035 г. (с учётом выбывания некоторых предприятий) – почти на треть (составив более 181 тыс. т). Ресурсы кобальта, выявленные на суше, оцениваются примерно в 25 млн т [28], что достаточно для поддержания максимального ожидаемого уровня производства на протяжении не менее 100 лет.

Как показывает рис. 3, ожидаемый прирост производства кобальта не сможет обеспечить прогнозируемый уровень потребления на протяжении всего рассматриваемого периода времени. При годовом росте потребления на 5,6 % и реализации всех «ожидаемых» и «возможных» проектов дефицит металла может возникнуть после 2028 г. Но если часть проектов не будет своевременно введена в эксплуатацию (например, из-за неблагоприятного уровня цен на основные компоненты осваиваемых месторождений – медь и никель), тогда трудности с обеспечением промышленности кобальтом могут возникнуть раньше. При среднегодовых темпах роста потребления кобальта в 7,2 % даже при запуске всех «ожидаемых» и «возможных» проектов дефицит может возникнуть после 2027 г., а при темпах роста в 8,8 % – в 2026 г. В зависимости от сценария роста потребления дефицит металла в 2035 г. может составить от 110 до 320 тыс. т (т. е. он может почти в два раза превысить производство первичного кобальта в указанный год).

Как уже подчёркивалось, развитие кобальтового производства осложняется редкостью собственно кобальтовых месторождений. При этом есть основания полагать, что угроза дефицита может оказаться столь значительной, что освоение новых кобальтсодержащих месторождений будет осуществляться именно ради кобальта, а не меди или никеля. Среди таких месторождений могут быть как уже известные, так и те, которые будут выявлены в ближайшие годы. Ожидания в отношении новых открытий основаны на быстром росте за-

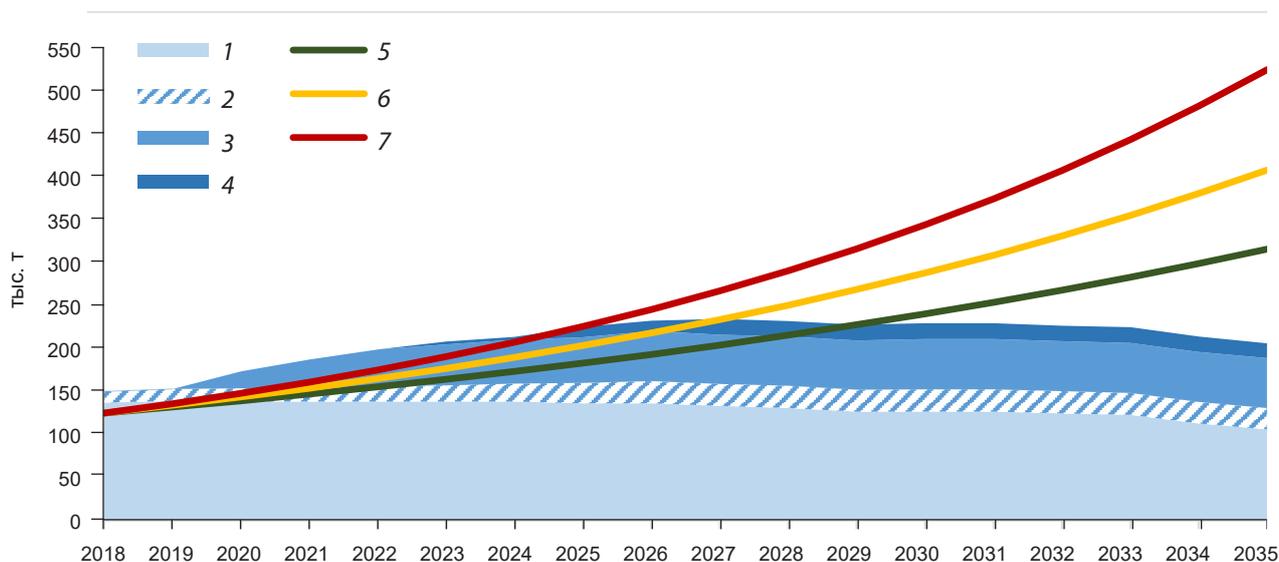


Рис. 3. Возможные сценарии роста производства и потребления кобальта до 2035 г., тыс. т:

1 – действующие рудники; 2 – производство вторичного кобальта; 3 – «ожидаемые» проекты; 4 – «возможные» проекты; сценарии потребления кобальта: 5 – рост на 5,6 % в год, 6 – рост на 7,2 % в год, 7 – рост на 8,8 % в год

Fig. 3. Potential scenarios of cobalt production and consumption growth until 2035, kt:

1 – operating mines; 2 – secondary cobalt production; 3 – “expected” projects; 4 – “possible” projects; cobalt consumption scenarios: 5 – 5.6%/year growth, 6 – 7.2%/year growth, 7 – 8.8%/year growth

трат на ГРП на кобальт: так, по данным S&P Global [36], в 2018 г. работы на него вели 95 компаний, инвестировавшие в разведку около 111 млн долл., а годом ранее – 52 компании, затраты которых составили около 36 млн долл. Следует также иметь в виду, что в настоящее время из-за недостаточной распространённости технологий извлекается только часть металла, заключённого в латеритных рудах; снижение потерь может обеспечить дополнительный прирост производства кобальта.

Итак, при прогнозируемых темпах роста потребления кобальта действующие и проектируемые рудники даже с поддержкой со стороны вторичного производства не смогут удовлетворить потенциальный спрос на металл. При этом опыт предыдущих лет показывает, что среднегодовые темпы роста потребления даже на уровне 8,8 % не являются аномальными и вполне могут быть обеспечены адек-

ватным производством на базе традиционных источников.

Ожидаемое производство кобальта из ЖМК по сравнению с текущим рудничным производством может оказаться значительным: при минимальном уровне оно будет соответствовать примерно 7,5 % показателя, при максимальном – примерно 45 %; в зависимости от сценария, по которому может развиваться потребление, оно также может соответствовать 19–55 % возможного в 2035 г. дефицита (см. табл. 2). Последствия выхода на рынок такого количества «глубоководного» металла будут зависеть от реальной ситуации на рынке. Как показано выше, не исключено, что размеры дефицита почти вдвое превысят объёмы возможного наземного производства. Тогда без кобальта из ЖМК решить проблему недостаточности металла будет невозможно. Однако это не означает, что наземные продуценты не



испытают негативных для себя последствий, о чём мы уже говорили применительно к ситуации с никелем.

Марганец. Главным фактором, определяющим уровень мирового потребления марганца как в настоящем, так и в будущем является состояние и динамика развития чёрной металлургии, которые, в свою очередь, контролируются ситуацией в таких отраслях экономики, как жилищное строительство, строительство инфраструктурных сооружений, автомобилестроение и целого ряда других. В то же время в течение следующего десятилетия ожидается быстрый рост спроса на марганец со стороны производителей аккумуляторных батарей, в том числе некоторых литий-ионных. Однако мнения о масштабах этого направления спроса расходятся. Если агентство Bloomberg [11] полагает, что к 2030 г. он достигнет примерно 0,2 млн т металла (такие объёмы значительного влияния на мировой рынок марганца не окажут в силу относительной незначительности), то у компаний Cairn ERA и CPM более оптимистичные ожидания, согласно которым потребление марганца в батареях в 2030 г. достигнет 500 тыс. т, а в 2040 г. – 1 млн т [26] (это уже достаточно большие объёмы для влияния на рыночный баланс).

Долгосрочные или среднесрочные прогнозы в отношении потребления марганца в открытом доступе практически отсутствуют, поэтому мы были вынуждены опираться на оценки перспектив потребления стали. Многие из них предполагают рост этого показателя на 1–3 % в год [7, 21, 25, 34, 37]. В то же время ряд экспертов ожидает его снижение, которое может начаться после 2030 г. или даже в более ранние сроки [25, 33, 35]; в качестве причин такой динамики называются реализация программ по снижению выбросов парниковых газов и ресурсосбережению, снижение спроса со стороны промышленности Китая (прежде всего, строительной индустрии) и даже цикличность развития мировой экономики.

В рамках своего исследования мы рассматривали только сценарии, предусматривающие положительную динамику мирового потребления марганца (рис. 4):

1. Подразумевает рост на 1 % в год. Условием его реализации прежде всего выступает стабилизация спроса на сталь и её производства в Китае [21]. Дополнительным фактором, влияющим на сокращение потребностей в марганцевых рудах, станет расширение в Китае выплавки электростали, сырьём для которой является стальной лом, уже содержащий марганец. Если учесть, что Китай с начала 2000-х годов вошёл в число крупных производителей и потребителей стали, а срок службы стальной продукции составляет 25–40 лет, то в ближайшие 10 лет в стране появятся значительные количества собственного лома, что, с одной стороны, обеспечит электропечи большим (и нарастающим со временем) количеством сырья на длительную перспективу, а с другой – снизит объём потребления марганца при том, что уровень выплавки стали может оставаться стабильным или даже расти [15, 17]. Следует отметить, что этот фактор – универсальный и будет действовать при любом сценарии развития потребления марганца;

2. Подразумевает рост потребления на 2 % в год, что примерно соответствует среднегодовому приросту потребления марганцевых руд в мире в 2011–2018 гг.;

3. Подразумевает рост потребления на 3 % в год, что соответствует среднегодовым темпам роста выплавки стали в мире в 2011–2018 гг.

Согласно проведённому нами анализу, производство марганцевых руд на действующих рудниках за счёт расширения их мощностей к середине 2020-х годов может увеличиться примерно на 20 %. В дальнейшем на протяжении всего рассматриваемого нами периода оно будет практически неизменным (см. рис. 4). Первые из рассматриваемых «ожидаемых» и «возможных» проектов могут войти в эксплуатацию в самое ближайшее время, а к 2035 г. их совокупная производительность может составить примерно 2,3 и 5 млн т руды в год соответственно. В результате в 2035 г. при успешной реализации всех проектов по расширению действующих производств и по созданию новых годовая производительность по добыче марганцевых руд может достичь 82 млн т в год, что на треть превысит текущий

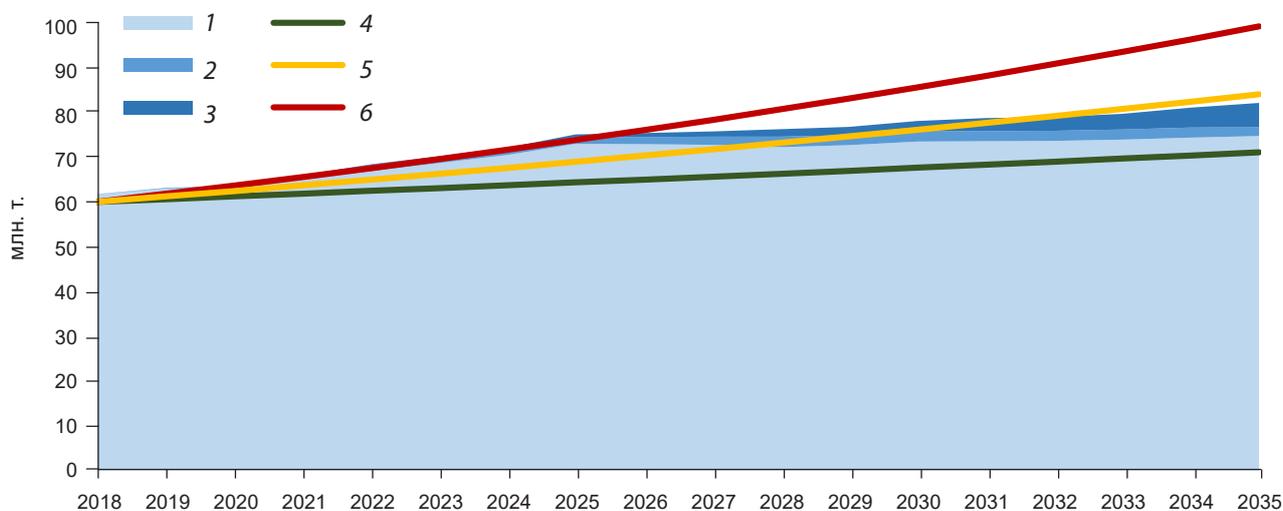


Рис. 4. Возможные сценарии роста производства и потребления марганцевых руд до 2035 г., млн т:

1 – действующие рудники; 2 – «ожидаемые» проекты; 3 – «возможные» проекты; сценарии потребления марганца: 4 – рост на 1 % в год, 5 – рост на 2 % в год, 6 – рост на 3 % в год

Fig. 4. Potential scenarios of manganese ore production and consumption growth until 2035, Mt:

1 – operating mines; 2 – “expected” projects; 3 – “possible” projects; manganese consumption scenarios: 4 – 1%/year growth, 5 – 2%/year growth, 6 – 3%/year growth

уровень. При этом следует отметить, что интенсивные ГРР на марганец ведёт Китай: только за 2016–2017 гг. его запасы и ресурсы марганцевых руд выросли на 454 млн т [8], а в последующие годы было открыто ещё несколько объектов, обеспечивших прирост запасов на 660 млн т [32]. Можно ожидать, что хотя бы некоторые из открытых объектов будут введены в эксплуатацию в рассматриваемый период, что существенно увеличит ожидаемое производство марганцевых руд.

Если среднегодовые темпы роста потребления марганца будут находиться на уровне 1 %, спрос на него будет полностью удовлетворён действующими предприятиями. Причём объёмы производства марганцевых руд могут значительно превысить уровень потребления (особенно это касается периода между 2023 и 2031 г.), что, с одной стороны, неминуемо снизит цены, а с другой, – приведёт к увеличению складских запасов руды, как уже было в прошлом. Рыночный профицит и низкие цены вы-

нудят производителей марганцевых руд сокращать их выпуск, а мелкие рудники, наиболее чувствительные к рыночным колебаниям, приостановят работу. Также будет заморожено большинство проектов освоения и свёрнуто проведение ГРР, особенно на площадях с минерализацией низкого качества.

Если среднегодовые темпы роста потребления марганца составят 2 %, то действующие рудники смогут обеспечить их вплоть до 2027–2028 гг. В последующие годы может возникнуть нехватка сырья, однако до 2031–2032 гг. её могут компенсировать «ожидаемые» и «возможные» проекты. Недостаток руды, который может возникнуть в дальнейшем, могут компенсировать складские запасы, накопленные в годы профицита; по ожиданиям, он будет сохраняться до 2030–2031 гг., а в 2023–2027 гг. составит от 4 до 6 млн т руды в год. В целом можно говорить о том, что при росте спроса на марганцевые руды на уровне 2 % в год рынок также не будет испытывать дефицита.



Если среднегодовые темпы роста потребления марганцевых руд будут находиться на уровне 3 %, то уже с 2020 г. возможна существенная нехватка продукции, поступающей с ныне действующих рудников, но её могут компенсировать реализуемые проекты. Однако с 2026 г. формирование дефицита возможно даже при условии реализации всех планов; в 2035 г. он может составить 17 млн т руды или около 5,5 млн т металла². Это станет стимулом для роста цен и активизации процесса вовлечения в освоение новых месторождений, а также расширения ГРП, нацеленных, прежде всего, на выявление новых месторождений марганцевых руд высокого качества. В настоящее время уже увеличились объёмы проведения ГРП на высокосортные руды в Индонезии и Бразилии, на низкосортные – в Китае и Австралии. Начало эксплуатации новых объектов в рассматриваемый период может ликвидировать потенциальную нехватку сырья.

Итак, только при росте потребления марганцевых руд на уровне до 2 % в год на протяжении всего рассматриваемого периода рынок может сохранять бездефицитность, чему будет содействовать накопление складских запасов в годы профицита. При более высоких темпах роста потребления, если не появятся новые проекты освоения месторождений марганцевых руд, дефицит неизбежен.

Производство марганца из ЖМК может оказаться значительным или даже весьма значительным: при минимальном ожидаемом уровне оно будет соответствовать примерно 7,5 % текущего показателя в пересчёте на металл, а при максимальном – примерно 46 %. Только при росте потребления марганцевых руд более чем на 2 % в год на рынке может появиться ниша, которую может занять «глубоководный» металл. Причём если исходить из роста потребления по максимальному сценарию (+3 % в год), то без критических для рынка последствий глубоководная добыча может вестись с интенсивностью, не превышающей

18 млн т ЖМК в год (см. табл. 2). В противном случае она спровоцирует перепроизводство (при максимальном ожидаемом объёме она превысит дефицит в 1,7 раза) и падение цен на марганец, которое может оказаться столь значительным, что многие традиционные производители прекратят свое функционирование, а проекты ГРП и освоения новых месторождений будут приостановлены. Аналогичный эффект от падения цен на марганец проявится и в отношении ЖМК, добыча которых также может стать нерентабельной и прекратиться по причине, ею же спровоцированной. Учитывая технические сложности глубоководной добычи, можно ожидать, что её себестоимость окажется выше сложившегося уровня цен раньше, чем это произойдёт с наземными производителями.

Однако такие рассуждения требуют важного уточнения. Формально ЖМК представляют собой аналог марганцевых руд низкого качества с содержанием Mn < 30 % (кроме того, они отличаются высоким содержанием фосфора, являющегося для марганцевого сырья вредной примесью). По данным International Manganese Institute (IMnI), в 2014–2018 гг. на долю бедных руд приходилось 14–20 % мирового производства в пересчёте на металл [18], основная часть которого (~ 80 %) приходилась на долю Китая, где из-за специфики сырьевой базы руды со средним содержанием Mn, не превышающим 20 %, являются по сути единственным получаемым видом марганцеворудной продукции [2]. В сравнительно небольших количествах низкокачественные руды также получают в Гане, Индии и некоторых других странах, но, в отличие от Китая, в этих странах добываются руды разных качественных категорий. В глобальном плане объёмы их производства во многом определяются уровнем цен на марганцевую продукцию (ферросплавы и металлический марганец): чем выше цены на неё, тем больше перспектив, что бедные руды будут востребованы потребителями, поскольку экономические показатели их деятельности в значительной степени зависят от качества перерабатываемого сырья. Следует также отметить, что марганцевые руды

² При оценке использовано текущее среднемировое содержание Mn в производимых марганцевых рудах, составляющее около 32–33 % [2].

низкого качества как таковые имеют ограниченное применение: основная их часть используется для получения металлического марганца гидрометаллургическим или электролитическим способами и, в небольшом количестве, силикомарганца [27]. Таким образом, интерес к ЖМК как к марганцевому сырью ограничен и возможен только при уровне цен, превосходящем себестоимость их добычи и переработки, включающей дефосфориацию. В противном случае у них не будет потребителя и их нельзя будет отождествлять с марганцевым сырьём. Соответственно, тогда добыча ЖМК не будет оказывать влияния на рынок марганцевых руд.

Возникающая неопределённость в отношении использования ЖМК в качестве источника марганца может оказаться критической и в отношении заключённых в них меди, никеля и кобальта. Исходя из примерных оценок потенциальной стоимости всех четырёх компонентов, на долю марганца приходится примерно треть [24]; отказ от его извлечения может привести к тому, что добыча и переработка ЖМК становятся в принципе нерентабельными.

Выводы. Итак, у четырёх металлов, источником которых могут выступать ЖМК, разные перспективы потребления и традиционного производства. Причём если для меди, никеля и кобальта есть согласованное мнение экспертов о росте потребления (расхождении только в оценках его темпов), то для марганца, при наличии прогнозов снижения выплавки стали, такой однозначный вывод сделать нельзя.

Как свидетельствуют ретроспективные данные, потребление рассматриваемых метал-

лов будет характеризоваться разными темпами роста: в предыдущие 10 лет для меди они составляли 3,5 % в год, для никеля – более 7 %, для кобальта – 8,7 %, для марганца – 2 %. Как показано выше, для цветных металлов эти показатели соответствуют рассмотренным нами максимальным сценариям, а для марганца – базовому. При сохранении установившихся тенденций на долгосрочную перспективу высока вероятность того, что к 2035 г. на рынках меди, никеля и кобальта сформируется значительный дефицит, но для конкретных металлов его наступление будет происходить в разные сроки. Для марганца при традиционном росте потребления возможность возникновения дефицита в рассматриваемый период сомнительна.

Дисгармоничность формирования рыночного дефицита приведёт к тому, что если начало добычи ЖМК будет совпадать с наиболее ранними его проявлениями (а это может произойти на рынке никеля), то остальные рынки испытают перенасыщение и на них произойдёт снижение цен. Это снижение не только повлечёт за собой негативные последствия для наземных производителей, но и может уменьшить рентабельность самой глубоководной добычи до такого уровня, что она станет экономически нецелесообразной.

Таким образом, если ориентироваться на ведение глубоководной добычи с соблюдением принципов, установленных Конвенцией ООН по морскому праву, её следует начинать только при формировании дефицита на рынках всех компонентов, извлекаемых из ЖМК. А это, согласно нашим оценкам, может произойти не ранее 2030 г.

Список литературы

1. Конвенция ООН по морскому праву / Организация объединённых наций. – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/pdf/lawsea.pdf (дата обращения: 31.01.2021).
2. Advance Data Release of the 2016 Annual Tables. Manganese // U.S. Geological Survey. 2020. – URL: [https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/as-](https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/myb1-2016-manga-adv.xlsx)
3. Al Barazi S. Rohstoffrisikobewertung – Kobalt // DERA Rohstoffinformationen. – Berlin, 2018. – URL: [sets/palladium/production/atoms/files/myb1-2016-manga-adv.xlsx](https://www.deutscherohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen36) (дата обращения: 11.01.2021).



- pdf;jsessionid=5E27543065DB072D00053BC464611B02.2_cid331?__blob=publicationFile&v=2 (дата обращения: 17.01.2021).
4. *Alves D. P., Blagoeva D., Pavel C., Arvanitidis N.* Cobalt: demand-supply balances in the transition to electric mobility // European Commission. Technical Report by the Joint Research Centre. – 2018. – URL: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC112285/jrc112285_cobalt.pdf (дата обращения: 17.01.2021).
 5. *Beyond the Supercycle: How Technology Is Reshaping Resources* / McKinsey Global Institute. – 2017. – URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/how-technology-is-reshaping-supply-and-demand-for-natural-resources#> (дата обращения: 11.01.2021).
 6. *Bloomberg.* News. There's One Metal Worrying Tesla and EV Battery Suppliers. – 2019. – URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-08-05/there-s-one-metal-worrying-tesla-and-the-ev-battery-supply-chain> (дата обращения: 16.01.2021).
 7. *Chalabyan A., Mori L., Vercammen S.* The current capacity shake-up in steel and how the industry is adapting / McKinsey Global Institute. – 2018. – URL: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Metals%20and%20Mining/Our%20Insights/The%20current%20capacity%20shake%20up%20in%20steel%20and%20how%20the%20industry%20is%20adapting/The-current-capacity-shake-up-in-steel-and-how-the-industry-is-adapting.ashx> (дата обращения: 17.01.2021).
 8. *China Mineral Resources* / Ministry of Natural Resources PRC. – 2018. – URL: <https://www.gov.cn/xinwen/2018-10/22/5333589/files/01d0517b9d6c430bbb927ea5e48641b4.pdf> (дата обращения: 17.01.2021).
 9. *Copper and Its Electrifying Future* // DBS Group Research. – 2018. – URL: https://www.dbs.com/aics/templatedata/article/generic/data/en/GR/1020-18/181004_insights_copper_and_its_electrifying_future.xml (дата обращения: 02.08.2020).
 10. *Copper.* Demand to 2035, 1st Edition. Copper – The Electric Metal. – Roskill Information Services Ltd, 2019. – URL: www.roskill.com (дата обращения: 05.09.2020).
 11. *Djukanovic G.* Manganese, copper and aluminium: The role of these metals in global battery demand // Battery Materials Europe. – 2019. – URL: <https://www.metalbulletin.com/events/download.ashx/document/speaker/E001854/a011t0000015R1m-EAF/Presentation> (дата обращения: 17.01.2021).
 12. *Elshkaki A., Graedel T. E., Ciacci L., Reck B. K.* Copper demand, supply, and associated energy use to 2050 // *Global Environmental Change*. – 2016. – V. 39. – P. 305–315. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378016300802> (дата обращения: 23.01.2021).
 13. *Fu X., Beatty D. N., Gaustad G. G. [et al.]* Perspectives on Cobalt Supply through 2030 in the Face of Changing Demand // *Environmental Science and Technology*. – 2020. – V. 54 (5). – P. 2985–2993.
 14. *Heffernan O.* Seabed mining is coming – bringing mineral riches and fears of epic extinctions. – 2019. – URL: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-02242-y> (дата обращения: 10.01.2021).
 15. *Hites B. E.* The growth of EAF steelmaking // *Recycling Today*. – 2020. – URL: <https://www.recyclingtoday.com/article/the-growth-of-eaf-steelmaking> (дата обращения: 05.02.2021).
 16. *Horizonte Minerals Plc.* Investor Presentation Q4 2019 Nickel market. – URL: https://horizonteminerals.com/news/en_20191024-investor-presentation.pdf (дата обращения: 16.01.2021).
 17. *Hu T.* Steel sector is key to reducing China's carbon emissions. – S&P Global, 2020. – URL: <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/steel-sector-is-key-to-reducing-china-s-carbon-emissions-61634240> (дата обращения: 05.02.2021).
 18. *IMnI Statistics 2019* // International Manganese Institute. – Paris-France, 2020. – URL: https://www.manganese.org/wp-content/uploads/2019/05/IMnI_statistics_2019.pdf (дата обращения: 17.01.2021).
 19. *Independence Group NL.* Austmine 2019. – URL: https://www.igo.com.au/site/PDF/2741_2/Austmine2019Presentation (дата обращения: 16.01.2021).
 20. *Kelly T. D., Matos G. R.* Historical statistics for mineral and material commodities in the United States (2016 version): U.S. Geological Survey Data Series 140. – URL: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/historical-statistics-mineral-and-material-commodities-united-states> (дата обращения: 10.01.2021).
 21. *Kinch D., Rubin R.* Long-term global steel demand growth to be 1 %; China has peaked: worldsteel's Basson // S&P Global. – 2019. – URL: <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/metals/041819-long-term-global-steel-demand-growth-to-be-1-china-has-peaked-worldsteels-basson> (дата обращения: 17.01.2021).

22. *Kirchain R., Field F. R., Roth R.* Financial Regimes for Polymetallic Nodule Mining: A Comparison of Four Economic Models // International Seabed Authority. – 2019. – URL: <https://ran-s3.s3.amazonaws.com/isa.org.jm/s3fs-public/files/documents/mit.pdf> (дата обращения: 10.01.2021).
23. *Kirchain R., Roth R., Field F. R., Muñoz-Royo C., Peacock T.* Development of an Economic Model and System of Payments for the Exploitation of Polymetallic Nodules in the Area. Report to the International Seabed Authority // International Seabed Authority. – 2019. – URL: <https://ran-s3.s3.amazonaws.com/isa.org.jm/s3fs-public/files/documents/paysysmodel-3jun.pdf> (дата обращения: 10.01.2021).
24. *Lapteva A., Chernova A., Khodina M., Mustafa T., Mustafina F., Smolnikova A.* Study of the Potential Impact of Polymetallic Nodules Production from the Area on the Economies of Developing Land-based Producers of those Metals which are Likely to be Most Seriously Affected. Report to the International Seabed Authority // International Seabed Authority. – 2020. – URL: <https://www.isa.org.jm/files/documents/impactstudy.pdf> (дата обращения: 10.01.2021).
25. *Lichtenstein J.* Steeling for disruption: Global steel producers must reinvent themselves as demand growth disappears // Accenture. – 2017. – URL: https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-40/Accenture-WEF-Steeling-For-Disruption. (дата обращения: 17.01.2021).
26. *Manganese* // Euro Manganese Inc. – 2019. – URL: <https://www.mn25.ca/manganese> (дата обращения: 17.01.2021).
27. *Manganese: Outlook to 2029*, 15th edition. – Roskill Information Services Ltd, 2019. – URL: www.roskill.com (дата обращения: 05.02.2021).
28. *Mineral Commodity Summaries 2020* // U.S. Geological Survey. – Reston, Virginia, 2020. – URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf> (дата обращения: 11.01.2021).
29. *Mudd G. M., Jowitt S. M.* A Detailed Assessment of Global Nickel Resource Trends and Endowments // Economic Geology. – 2014. – V. 109. – P. 1813–1841.
30. *PR Newswire.* 2019 exploration budget recovery falters due to difficult market conditions and high-profile M&A activity. 15.10.2019. – URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/2019-exploration-budget-recovery-falters-due-to-difficult-market-conditions-and-high-profile-ma-activity-300938552.html> (дата обращения: 17.01.2021).
31. *Schipper B. W., Lin H.-C., Meloni M. A., Wansleben K., Heijungs R., van der Voet E.* Estimating global copper demand until 2100 with regression and stock dynamics // Resources, Conservation & Recycling. – 2018. – V. 132. – P. 28–36. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344918300041> (дата обращения: 23.01.2021).
32. *SMM News.* China's 1st large manganese-rich mine uncovered in Guizhou, 19.06.2019. – URL: <https://news.metal.com/newscontent/100939677/Report:-China%27s-1st-large-manganese-rich-mine-uncovered-in-Guizhou/> (дата обращения: 23.01.2021).
33. *Steel and iron ore outlook* // Wood Mackenzie. – 2019. – URL: http://portaldamineracao.com.br/wp-content/uploads/2019/04/steel-and-io-outlook_wmc_april-2019.pdf (дата обращения: 17.01.2021).
34. *Steel Demand Beyond 2030. Forecast Scenarios* // OECD. – 2017. – URL: https://www.oecd.org/industry/ind/Item_4b_Accenture_Timothy_van_Audenaerde.pdf (дата обращения: 17.01.2021).
35. *The Inevitable Policy Response: Forecast Policy Scenario* // The Inevitable Policy Response. – 2019. – URL: <https://www.unpri.org/download?ac=9835> (дата обращения: 17.01.2021).
36. *World Exploration Trends 2018* // S&P Global PDAC Special Edition. – 2019. – URL: http://www.egcsouthafrica.com/wp-content/uploads/2018/07/20190425_2018-World-Exploration-Trends.pdf (дата обращения: 17.01.2021).
37. *World steel associated.* Contribution to MJunction. – 2019. – URL: http://www.indiansteelmarkets.com/presentations/Session1/4.0%20Edwin%20Basson_WSA.pptx (дата обращения: 17.01.2021).

References

1. Konventsiya OON po morskomu pravu [UN Convention on the Law of the Sea], Organization of the United Nations], available at: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/pdf/lawsea.pdf (Accessed: 31.01.2021).
2. Advance Data Release of the 2016 Annual Tables. Manganese, U.S. Geological Survey, 2020, available at: <https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/myb1-2016-manga-adv.xlsx> (Accessed: 11.01.2021).



3. Al Barazi S. Rohstoffrisikobewertung – Kobalt, DERA Rohstoffinformationen, Berlin, 2018, available at: https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-36.pdf;jsessionid=5E27543065DB072D00053BC464611B02.2_cid331?__blob=publicationFile&v=2 (Accessed: 17.01.2021).
4. Alves D. P., Blagoeva D., Pavel C., Arvanitidis N. Cobalt: demand-supply balances in the transition to electric mobility, European Commission. Technical Report by the Joint Research Centre, 2018, available at: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC112285/jrc112285_cobalt.pdf (Accessed: 17.01.2021).
5. Beyond the Supercycle: How Technology Is Reshaping Resources, McKinsey Global Institute, 2017, available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/how-technology-is-reshaping-supply-and-demand-for-natural-resources#> (Accessed: 11.01.2021).
6. Bloomberg. News. There's One Metal Worrying Tesla and EV Battery Suppliers. 05.08.2019, available at: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-08-05/there-s-one-metal-worrying-tesla-and-the-ev-battery-supply-chain> (Accessed: 16.01.2021).
7. Chalabyan A., Mori L., Vercammen S. The current capacity shake-up in steel and how the industry is adapting, McKensy&Company, 2018, available at: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Metals%20and%20Mining/Our%20Insights/The%20current%20capacity%20shake%20up%20in%20steel%20and%20how%20the%20industry%20is%20adapting/The-current-capacity-shake-up-in-steel-and-how-the-industry-is-adapting.ashx> (Accessed: 17.01.2021).
8. China Mineral Resources 2018, Ministry of Natural Resources PRC, 2018, available at: <https://www.gov.cn/xinwen/2018-10/22/5333589/files/01d0517b9d6c430bbb927ea5e48641b4.pdf> (Accessed: 17.01.2021).
9. Copper and Its Electrifying Future, DBS Group Research, 2018, available at: https://www.dbs.com/aics/templatedata/article/generic/data/en/GR/102018/181004_insights_copper_and_its_electrifying_future.xml (Accessed: 02.08.2020).
10. Copper. Demand to 2035, 1st Edition. Copper – The Electric Metal, Roskill Information Services Ltd, 2019, available at: www.roskill.com (Accessed: 05.09.2020).
11. Djukanovic G. Manganese, copper and aluminium: The role of these metals in global battery demand, Battery Materials Europe, 2019, available at: <https://www.metalbulletin.com/events/download.ashx/document/speaker/E001854/a011t00000-15R1mEAF/Presentation> (Accessed: 17.01.2021).
12. Elshkaki A., Graedel T. E., Ciacci L., Reck B. K. Copper demand, supply, and associated energy use to 2050, Global Environmental Change, 2016, V. 39, pp. 305–315, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378016300802> (Accessed: 23.01.2021).
13. Fu X., Beatty D. N., Gaustad G. G. [et al.] Perspectives on Cobalt Supply through 2030 in the Face of Changing Demand, Environmental Science and Technology, 2020, V. 54 (5), pp. 2985–2993.
14. Heffernan O. Seabed mining is coming – bringing mineral riches and fears of epic extinctions, 2019, available at: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-02242-y> (Accessed: 10.01.2021).
15. Hites B. E. The growth of EAF steelmaking, Recycling Today, 2020, available at: <https://www.recyclingtoday.com/article/the-growth-of-eaf-steelmaking> (Accessed: 05.02.2021).
16. Horizonte Minerals Plc. Investor Presentation Q4 2019 Nickel market, available at: https://horizonteminerals.com/news/en_20191024-investor-presentation.pdf (Accessed: 16.01.2021).
17. Hu T. Steel sector is key to reducing China's carbon emissions, S&P Global, 2020, available at: <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/steel-sector-is-key-to-reducing-china-s-carbon-emissions-61634240> (Accessed: 05.02.2021).
18. IMnI Statistics 2019, International Manganese Institute, Paris, France, 2020, available at: https://www.manganese.org/wp-content/uploads/2019/05/IMnI_statistics_2019.pdf (Accessed: 17.01.2021).
19. Independence Group NL, Austmine 2019, available at: https://www.igo.com.au/site/PDF/2741_2/Austmine2019Presentation (Accessed: 16.01.2021).
20. Kelly T. D., Matos G. R., 2014, Historical statistics for mineral and material commodities in the United States (2016 version): U.S. Geological Survey Data Series 140, available at: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/historical-statistics-mineral-and-material-commodities-united-states> (Accessed: 10.01.2021).
21. Kinch D., Rubin R. Long-term global steel demand growth to be 1 %; China has peaked: worldsteel's Basson, S&P Global, 2019, available at: <https://www.>

- spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/metals/041819-long-term-global-steel-demand-growth-to-be-1-china-has-peaked-worldsteels-basson (Accessed: 17.01.2021).
22. Kirchain R., Field F. R., Roth R. Financial Regimes for Polymetallic Nodule Mining: A Comparison of Four Economic Models, International Seabed Authority, 2019, available at: <https://ran-s3.s3.amazonaws.com/isa.org/jm/s3fs-public/files/documents/mit.pdf> (Accessed: 10.01.2021).
 23. Kirchain R., Roth R., Field F. R., Muñoz-Royo C., Peacock T. Development of an Economic Model and System of Payments for the Exploitation of Polymetallic Nodules in the Area. Report to the International Seabed Authority, International Seabed Authority, 2019, available at: <https://ran-s3.s3.amazonaws.com/isa.org/jm/s3fs-public/files/documents/paysysmodel-3jun.pdf> (Accessed: 10.01.2021).
 24. Lapteva A., Chernova A., Khodina M., Mustafa T., Mustafina F., Smolnikova A. Study of the Potential Impact of Polymetallic Nodules Production from the Area on the Economies of Developing Land-based Producers of those Metals which are Likely to be Most Seriously Affected. Report to the International Seabed Authority, International Seabed Authority, 2020, available at: <https://www.isa.org/jm/files/documents/impactstudy.pdf> (Accessed: 10.01.2021).
 25. Lichtenstein J. Steeling for disruption: Global steel producers must reinvent themselves as demand growth disappears, Acenture, 2017, available at: https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-40/Accenture-WEF-Steeling-For-Disruption. (Accessed: 17.01.2021).
 26. Manganese, Euro Manganese Inc., 2019, available at: <https://www.mn25.ca/manganese> (Accessed: 17.01.2021).
 27. Manganese: Outlook to 2029, 15th edition, Roskill Information Services Ltd., 2019, available at: www.roskill.com (Accessed: 05.02.2021).
 28. Mineral Commodity Summaries 2020, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2020, available at: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs-2020.pdf> (Accessed: 11.01.2021).
 29. Mudd G. M., Jowitt S. M. A Detailed Assessment of Global Nickel Resource Trends and Endowments, *Economic Geology*, 2014, V. 109, pp. 1813–1841.
 30. PR Newswire. 2019 exploration budget recovery falters due to difficult market conditions and high-profile M&A activity. 15.10.2019, available at: <https://www.prnewswire.com/news-releases/2019-exploration-budget-recovery-falters-due-to-difficult-market-conditions-and-high-profile-ma-activity-300938552.html> (Accessed: 17.01.2021).
 31. Schipper B. W., Lin H.-C., Meloni M. A., Wansleben K., Heijungs R., van der Voet E. Estimating global copper demand until 2100 with regression and stock dynamics, *Resources, Conservation & Recycling*, 2018, V. 132, pp. 28–36, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344918300041> (Accessed: 23.01.2021).
 32. SMM News. China's 1st large manganese-rich mine uncovered in Guizhou, 19.06.2019, available at: <https://news.metal.com/newscontent/100939677/Report:-China%27s-1st-large-manganese-rich-mine-uncovered-in-Guizhou/> (Accessed: 23.01.2021).
 33. Steel and iron ore outlook, Wood Mackenzie, 2019, available at: http://portaldaminerao.com.br/wp-content/uploads/2019/04/steel-and-io-outlook_wmc_april-2019.pdf (Accessed: 17.01.2021).
 34. Steel Demand Beyond 2030. Forecast Scenarios, OECD, 2017, available at: https://www.oecd.org/industry/ind/Item_4b_Accenture_Timothy_van_Audenaerde.pdf (Accessed: 17.01.2021).
 35. The Inevitable Policy Response: Forecast Policy Scenario, The Inevitable Policy Response, 2019, available at: <https://www.unpri.org/download?ac=9835> (Accessed: 17.01.2021).
 36. World Exploration Trends 2018, S&P Global PDAC Special Edition, 2019, available at: http://www.egcsouthafrica.com/wp-content/uploads/2018/07/20190425_2018-World-Exploration-Trends.pdf (Accessed: 17.01.2021).
 37. World steel associated. Contribution to MJunction, 2019, available at: http://www.indiansteelmarts.com/presentations/Session1/4.0%20Edwin%20Basson_WSA.pptx (Accessed: 17.01.2021).



Авторы

Лаптева Анна Михайловна

кандидат геолого-минералогических наук
доцент, заведующий сектором металлических ПИ
отдела анализа минерально-сырьевого комплекса
lapteva@vims-geo.ru

Мустафа Татьяна Сергеевна

ведущий специалист сектора металлических ПИ
отдела анализа минерально-сырьевого комплекса
mustafa@vims-geo.ru

Смольникова Анастасия Владимировна

главный специалист сектора металлических ПИ
отдела анализа минерально-сырьевого комплекса
anastasiyaakimova@ya.ru

Чернова Александра Дмитриевна

заведующий отделом анализа
минерально-сырьевого комплекса
chernova@vims-geo.ru

ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский институт
минерального сырья им. Н. М. Федоровского, г. Москва

Authors

Lapteva Anna Mikhailovna

PhD, Associate professor
Head of metallic minerals sector
of mineral complex analysis department
lapteva@vims-geo.ru

Mustafa Tatiana Sergeevna

leading specialist of metallic minerals sector
of mineral complex analysis department
mustafa@vims-geo.ru

Smolnikova Anastasia Vladimirovna

chief specialist of metallic minerals sector
of mineral complex analysis department
anastasiyaakimova@ya.ru

Chernova Aleksandra Dmitrievna

Head of mineral complex
analysis department
chernova@vims-geo.ru

FSBI Russian Research Institute
of Mineral Materials, Moscow, Russia