

Рис. 2. Сравнение результатов испытаний методами NIR, ФМС и XRT сепарации

Выводы

Проведенные испытания показали, что руда Кульдурского месторождения обогатима фотометрическим, ближнеинфракрасным и рентгеноабсорбционным методами сепарации. Сравнение результатов испытаний NIR, ФМС и XRT методов сепарации приведено на рис. 2. Столбцы характеризуют изменение содержания основных компонентов в обогащенном продукте относительно питания сепарации.

Как следует из рис. 2, концентраты XRT сепарации характеризуются более высоким изменением содержания ценного (MgO), так и примесных (CaO и SiO₂) компонентов. При сопоставимом изменении содержания ценного и примесных компонентов XRT метод имеет более высокий выход обогащенного продукта (XRT сепарация в Тране Текникк и NIR сепарация). При сопоставимом выходе обогащенного продукта (ФМС без промывки и XRT) результаты XRT сепарации характе-

ризуются большим изменением содержания ценного и примесных компонентов в обогащенном продукте. При этом метод позволяет получить высококачественный продукт марки БК-1 из низко- и среднекачественных марок (БКМ-2, БКМ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксельрод, Л.М. Обогащение магнетита Саткинского месторождения рентгенодифракционным методом / Л.М. Аксельрод, М.Ю. Турчин, М.И. Назмиев, Е.В. Мануйлова, И.И. Галиханов. // Новые огнеупоры. — 2016. — № 6. — С. 8–12.
2. Кобзев, А.С. Радиометрическое обогащение минерального сырья / А.С. Кобзев. — М.: Издательство «Горная книга», 2015. — 125 с.
3. Уфимцева, Н. Рентген сменил суспензию / Н. Уфимцева // Магнетитовец. — 2017. — № 15. (6316). — С. 5.
4. Galos, K. Magnesite and magnesia / E. Lewicka (Ред.) Market analysis of selected raw materials for the ceramic and glass industries in Poland over the years 1990–2012 / K. Galos. — Krakow: Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energi PAN, 2014. — 127 с.
5. Pre-beneficiation & Main beneficiation // Grecian magnesite.com URL: <http://www.grecianmagnesite.com/company/production-process/pre-beneficiation-main-beneficiation> (дата обращения: 30.04.2020).
6. Robben, Ch. Sensor-Based Ore Sorting Technology in Mining — Past, Present and Future / Ch. Robben, H. Wotruba // Minerals. — 2019. — Vol. 9 — № 9. URL: <https://www.mdpi.com/2075-163X/9/9/523/htm> 523 (дата обращения: 12.05.2020).

© Лебедев А.Н., Кобзев А.С., Куличенко А.В., 2021

Лебедев Алексей Николаевич // ALebedev@brucite.plus,
Кобзев Алексей Сергеевич // kobzev@brucite.plus,
Куличенко Александр Владимирович // AKulichenko@brucite.plus

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

УДК 553.43

Смольникова А.В., Лаптева А.М. (ФГБУ «ВИМС»)

МИРОВАЯ МЕДНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ В УСЛОВИЯХ РОСТА СПРОСА НА МЕТАЛЛ — ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В статье рассмотрена структура мирового потребления меди, выполнен анализ различных прогнозов потребления меди, дана характеристика рудничного производства меди по странам. На основании анализа данных по более чем 275 разрабатываемым и подготавливаемым к эксплуатации месторождениям сделан прогноз производства меди в период до 2035 г. и баланса спроса и предложения меди на мировом рынке в этот период. Показано, что до 2030 г. при любых прогнозируемых темпах

потребления меди ее дефицита на рынке не ожидается; также маловероятен дефицит и в дальнейшей перспективе. **Ключевые слова:** медь, потребление, производство, проекты освоения, прогноз, «зеленые» технологии.

Smolnikova A.V., Lapteva A.M. (VIMS)

WORLD COPPER INDUSTRY UNDER CONDITIONS OF GROWING CONSUMPTION: OPPORTUNITIES AND PROSPECTS

The article examines the structure of world copper consumption, analyzes the forecasts of copper consumption, gives a characteristic of copper mining by country. Based on the analysis of data on more than 275 developed and prepared for exploitation copper deposits, a forecast of copper production in the period up to 2035 and the balance of supply and demand of copper in the world market during this period was made. It is shown that until 2030, at any projected rates of

copper consumption, its deficit in the market is not expected; shortage is also unlikely in the long term. Keywords: copper, consumption, production, projects, forecast, «green» technologies.

Медь, благодаря таким своим свойствам, как высокая электро- и теплопроводность, коррозионная стойкость и пластичность является одним из самых широко применяемых промышленностью металлов. Ожидается, что на фоне развития так называемых «зеленых» технологий потребление меди будет активно расти. В связи с этим остро встает вопрос, сможет ли мировая медедобывающая промышленность обеспечить потенциальный спрос на металл? В настоящей статье авторы рассматривают возможные сценарии развития событий.

Мировое потребление меди

Медь активно применяется во многих сферах и отраслях промышленности: строительстве зданий (28 % мирового потребления) и объектов инфраструктуры (16 %), производстве товаров народного потребления (31 %), транспортной промышленности (13 %), машиностроении и приборостроении (12 %) [8].

В структуре производства и потребления металла выделяется свыше 50 товарных видов меди и сплавов на ее основе, среди которых главными являются медь различной чистоты, латуни, бронзы, медно-никелевые сплавы. Из меди и медных сплавов изготавливают заготовки для проволоки (катанку) и полуфабрикаты: листы, полосы, ленты, плиты, фольгу, прутки, профили, трубы, шины, поковки, фитинги, порошки, а также литейные изделия.

В чистом виде медь в основном используется в электротехнической и электронной промышленности: она идет на изготовление силовых кабелей и проводов, а медные провода, в свою очередь, применяются для обмотки электроприводов, электродвигателей, силовых аккумуляторов, трансформаторов. В электронике медь используется для изготовления деталей компьютеров и мобильных телефонов, в том числе микропроцессоров.

За счет хорошей теплопроводности медь применяют для производства различных теплообменников. Медные трубы широко применяются для транспортировки жидкостей и газов в системах водо- и газоснабжения, отопления,

кондиционирования, в холодильных агрегатах, в химическом машиностроении.

Благодаря высокой коррозионной стойкости и устойчивости в широком диапазоне климатических условий медь используют для кровельных покрытий.

В остальных отраслях промышленности в основном применяют сплавы меди с различными металлами, в первую очередь — цинком (латуни), оловом (бронзы) и никелем (мельхиоры, нейзильберы и др.).

По данным организации *International Copper Study Group (ISCG)* за последнее десятилетие мировое потребление рафинированной меди увеличилось на 37 % и в 2018 г. составило почти 24,5 млн т [9] (рис. 1). Практически полностью этот рост был обеспечен Китаем, где благодаря высоким темпам наращивания строительства и производства товаров народного потребления использование металла выросло более чем вдвое. При этом в США, Японии, Германии, являвшихся крупнейшими потребителями меди до 2000-х годов, в рассматриваемый период оно сократилось на 11–16 %.

Прогноз мирового потребления меди

Перспективы роста потребления меди в будущем в основном связывают с развитием так называемых «зеленых» технологий: электротранспорта и возобновляемых источников энергии (ветряных электростанций, солнечных батарей и др.).

По данным *DBS Group Research* потребление меди со стороны электротранспортной промышленности будет расти на 19 % в год даже без учета зарядных устройств и инфраструктуры [3]. В результате уже к 2030 г. использование металла в этой отрасли превы-

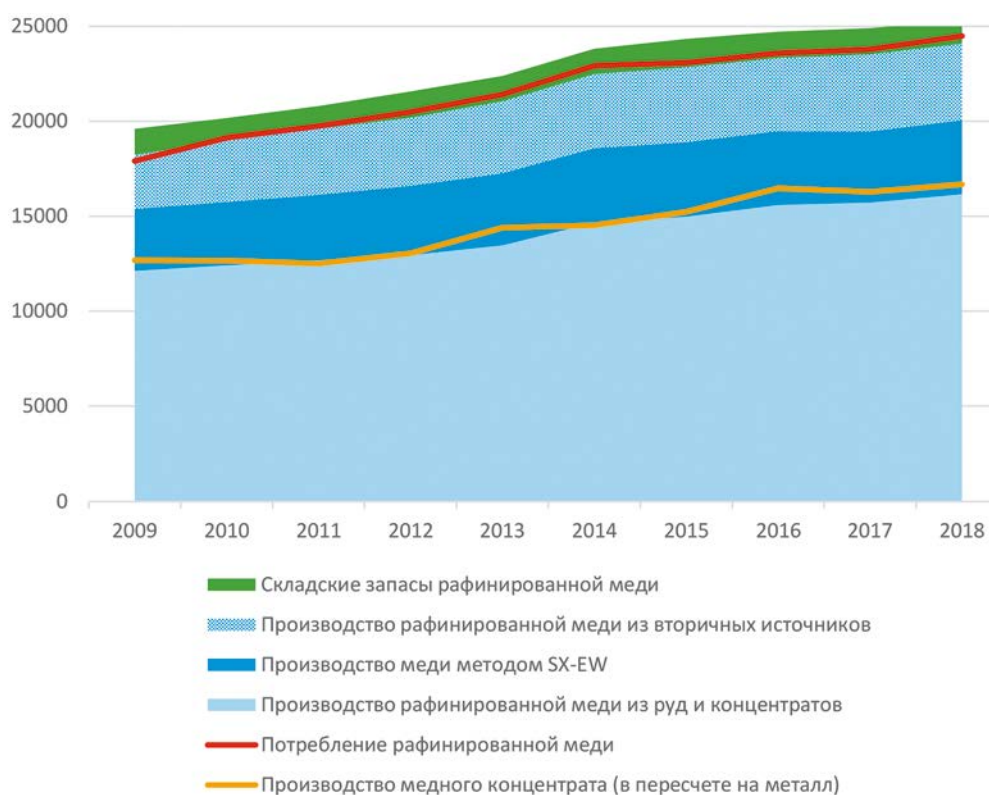


Рис. 1. Динамика мирового производства и потребления меди в 2009–2018 гг., тыс. т

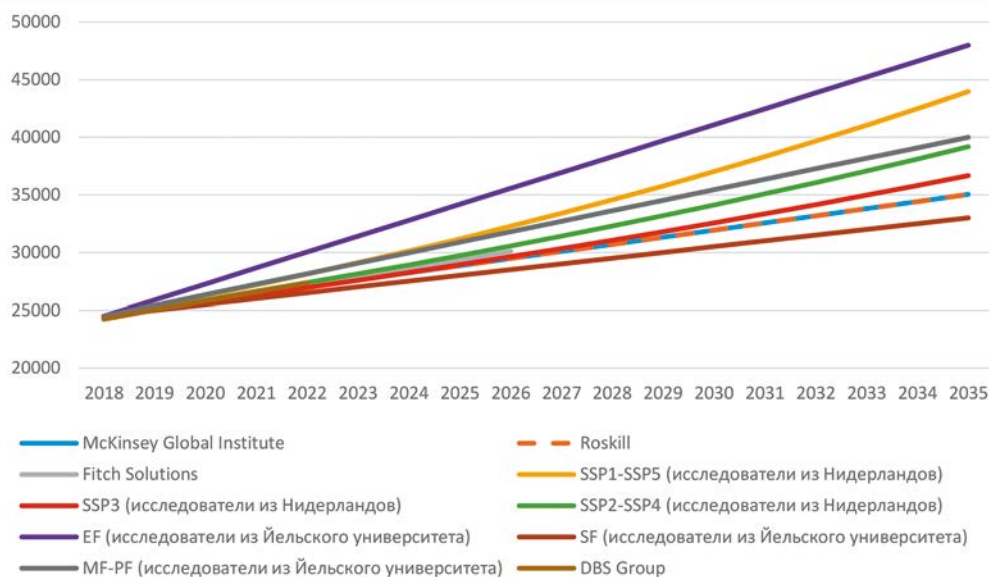


Рис. 2. Варианты прогнозов мирового потребления меди до 2035 г., тыс. т

сит текущее в 9 раз (с 207 тыс. т до 1,91 млн т), а к 2035 г. при сохранении темпов роста — в 22 раза, до 4,6 млн т. По данным организации *International Copper Association (ICA)* потребление меди электротранспортной промышленностью будет расти еще более высокими темпами и достигнет 1,74 млн т уже к 2027 г. [7]. В основе этих прогнозов следующие показатели расхода меди на транспортные средства с двигателями разных типов: если для производства легкового автомобиля с двигателем внутреннего сгорания требуется около 23 кг металла, то для гибридного электромобиля — 40 кг, гибридного электромобиля с подзарядкой от электросети — 60 кг, аккумуляторного электромобиля — 83 кг, гибридного электробуса — 89 кг, аккумуляторного электробуса — 224–369 кг [7].

Помимо самих электромобилей, медь необходима для зарядных устройств и создания необходимой инфраструктуры. В зависимости от мощности на одно зарядное устройство понадобится от 0,7 до 8 кг меди [3]. К примеру, американской компанией *WiTricity Corporation* разработано беспроводное зарядное устройство для электромобиля типа «седан», на изготовление которого уходит 4 кг меди [5].

Очевидно, что ожидаемый рост потребления меди в электротранспортной промышленности напрямую зависит от темпов ее развития. Доля продаж электромобилей в структуре мировой торговли автомобилями в 2018 г. составила 2,2 %, всего было продано более 2 млн электрокаров. В то же время, это на 64 % больше показателя предыдущего года и в сотни раз больше, чем в 2010 г., когда было продано несколько тысяч машин [4]. По оценкам агентства *Bloomberg* к 2035 г. продажи электрокаров превысят 40 млн, что составит около 20 % автомобильных продаж [2].

В настоящее время главным потребителем электромобилей является Китай. Согласно данным *International Energy Agency*, по состоянию на конец 2018 г. из 5,1 млн электрокаров, насчитывавшихся в мире,

почти половина (45 %) ездил по его дорогам [10]. Ожидается, что благодаря значительной государственной поддержке рынок электромобилей в стране будет ежегодно расти на 25 % [3], и в перспективе именно Китай обеспечит основной рост спроса на них. Помимо автомобильного электротранспорта в Китае активно развивается рельсовый электротранспорт, в том числе высокоскоростной, также требующий значительного количества меди (377 кг на поезд и 12 т на 1 км железной дороги). По данным *ICA* к 2030 г. потребление

меди китайской транспортной промышленностью в целом вырастет почти вдвое — до 3,3 млн т [6].

Рынки электротранспорта стран Европы, США, Японии, Индии и других стран развиваются более медленными темпами. При этом отдельного упоминания требует Чили, которая уже располагает крупнейшим после Китая автопарком электробусов и планирует к 2040 г. электрифицировать весь общественный транспорт, а к 2050 г. — 40 % личного транспорта [10].

Строительство электростанций, действующих на источниках возобновляемой энергии, также подразумевает увеличение потребления меди, но в меньших (в сравнении с электротранспортной промышленностью) объемах. По данным *DBS Group Research*, если в 2010–2016 гг. на строительство солнечных, ветряных и прочих электростанций ежегодно уходило около 463 тыс. т меди, то в период с 2017 по 2040 гг. количество металла возрастет до 635 тыс. т/год [3]. У аналитиков *Wood Mackenzie* более масштабный прогноз — согласно их оценкам, только для изготовления ветрогенераторов в период до 2022 г. будет расходоваться порядка 400 тыс. т меди в год, а в 2023–2028 гг. — по 600 тыс. т в год [11].

На сегодняшний день имеется большое количество прогнозов роста мирового потребления меди, в основе которых лежат ожидаемое изменение ВВП и численности населения, развитие «зеленых» технологий, переход на возобновляемые источники энергии, выполнение условий Парижского соглашения о регулировании мер по снижению содержания углекислого газа в атмосфере и прочие факторы. Несмотря на их разнообразие, прогнозируемый годовой рост потребления варьирует в достаточно узких пределах — 1,8–4 % (рис. 2).

В основе вариантов прогноза потребления меди, предложенных *Roskill*, *McKinsey Global Institute*, *Fitch Solutions*, *DBS Group* лежат перспективы роста спроса на медь, связанные с развитием «зеленых» технологий — электротранспорта и источников возобновляе-

мой энергии. Согласно этим прогнозам годовой рост спроса на медь составит 2–3 %.

В работах нидерландских ученых [13] и исследователей из Йельского университета (США) [12] использован комплексный подход, позволяющий учитывать множество факторов. В исследовании группы ученых из Нидерландов рассмотрены варианты роста спроса на медь до 2100 г. на основе пяти сценариев мирового развития (*SSP1-5*) с учетом темпов развития «зеленых» технологий, темпов роста населения и ВВП в различных комбинациях. Частично данные сценарии коррелируются со сценариями выбросов (*SRES*) специального доклада Межправительственной комиссии по изменению климата (*IPCC Special Report on Emission Scenarios*). Сценарии *SSP* предполагают, что годовые темпы роста мирового спроса на медь до 2035 г. будут варьировать в пределах 2,8–3,5 %. При этом наименее оптимистичный сценарий (*SSP3*) подразумевает слабое развитие «зеленых» технологий при быстром росте населения и медленном темпе роста ВВП. Наиболее же оптимистичные сценарии (*SSP1* и *SSP5*), предполагающие рост спроса на медь на одном уровне (около 3,5 %) до 2060 г., подразумевают диаметрально противоположные схемы мирового социально-экономического развития: *SSP1* предполагает активное развитие «зеленых» технологий при умеренном росте населения, а *SSP5* — курс на продолжение использования углеродных видов топлива при низком уровне инвестиций в развитие энергетики на возобновляемых источниках, но активном экономическом развитии и росте ВВП, низком приросте населения [13].

Ученые из Йельского университета выполнили прогноз роста спроса на медь до 2050 г. на основе сценариев Программы ООН по охране окружающей среды-4 (*UNEP Global Environment Outlook-4*): *Market First (MF*; рынок в первую очередь), *Policy First (PF*; политика в первую очередь), *Security First (SF*; безопасность в первую очередь), *Equitability First (EF*; баланс в первую очередь). Сценарии базируются на доминировании в мировом укладе рыночных отношений, политики, безопасности, либо их гармоничном сочетании. Наиболее оптимистичным с точки зрения годового роста спроса на медь является сценарий *EF*, согласно которому к 2035 г. он достигнет 4 %. Сценарий *SF*, нацеленный на урегулирование большого количества различных конфликтов, является самым пессимистичным (годовой рост 1,8 %). Сценарии *MF* и *PF* предполагают рост спроса на медь до 2035 г. в одинаковом темпе — около 2,9 % в год [12].

Несмотря на различные ожидания в отношении темпов роста потребления меди, все аналитики сходятся во мнении, что главным потребителем металла останется Китай. Согласно данным агентства *Antaika*, после 2027 г. потребление меди в стране достигнет пика, превысив 10 кг на человека. При этом прогнозируется рост ВВП на душу населения до 16 тыс. долл./чел. и потребления электроэнергии на душу населения до 7 534 кВт/час, что соответствует уровню развитых стран [3].

Значительным потенциалом роста потребления меди обладает Индия, экономика которой входит в фазу быстрого роста. По оценкам *DBS Group Research* в период до 2022 г. потребление меди может расти на 6,2 % в год [3].

Обобщая все вышесказанное, подчеркнем, что при условии общего экономического роста потребление меди будет расти вне зависимости от курса дальнейшего развития энергетики. При этом развитие «зеленых» технологий придаст этому росту мощный дополнительный импульс.

Мировое производство меди

В 2009–2018 гг. мировое производство рафинированной меди увеличивалось пропорционально росту ее потребления и в 2018 г. достигло 24 млн т, на треть превысив показатель 2009 г. На долю первичного металла пришлось 20 млн т (+30 % относительно уровня 2009 г.). Остальные 4 млн т были получены в результате переработки вторичного сырья (+42 %). Рост производства обеспечил главным образом ключевой потребитель меди — Китай. Помимо наращивания собственных добычных мощностей, он активно закупал сырье за рубежом, в первую очередь в Чили и Перу — крупнейших мировых продуцентах рудничной меди, — тем самым стимулируя расширение их горной промышленности. Благодаря импорту медного лома производство вторичной меди в стране за рассматриваемый период удвоилось, и в 2018 г. КНР обеспечила более половины ее мирового выпуска.

Тем не менее, уровень потребления меди в последние годы несколько превышал объемы ее производства. Однако дефицита металла на рынке не возникало. Разрыв компенсировали складские запасы, доля которых в среднем составляет 5–7 % суммарного объема производства. В результате мировой рынок оставался в целом профицитным (рис. 1).

Как показано выше, главенствующую роль в сырьевом обеспечении производства рафинированной меди играет рудничное производство, которое за период с 2009 г. выросло на 29 % и в 2018 г. превысило 20,5 млн т [9].

Главным продуцентом рудничной меди является Чили, обеспечивающая 28 % ее мирового производства. В стране находится крупнейшее в мире медедобывающее предприятие с годовой мощностью по добыче металла более 1 млн т, базирующееся на гигантском медно-порфировом месторождении Эскондида (*Escondida*). Еще у семи рудников страны годовая производительность превышает 300 тыс. т меди: Эль-Теньенте (*El Teniente*), Кольяуаси (*Collahuasi*), Лос-Бронсес (*Los Bronces*), Лос-Пеламбрес (*Los Pelambres*), Радомиро-Томик (*Radomiro Tomic*) и Чукикамата (*Chuquicamata*).

Перу, занимающая второе место в мировом рейтинге, в 2016 г. опередила Китай и продолжает наращивать производство меди на базе медно-порфировых месторождений Серро-Верде (*Cerro Verde*), Токепала (*Toquepala*), Куахоне (*Cuajone*) и др., а также скарновых объектов Антамина (*Antamina*) и Лас-Бамбас (*Las Bambas*).

В Китае, замыкающем тройку лидеров, добычу меди в основном ведут многочисленные средние и мелкие предприятия, базирующиеся на месторождениях различных геолого-промышленных типов.

Если говорить о менее значимых продуцентах, то в США основной объем рудничного производства обеспечивают медно-порфиновые месторождения, крупнейшим из которых является Моренси (*Morenci*). В ДР Конго и Замбии разрабатываются месторождения медистых песчаников Медного пояса Африки. В России, входящей в десятку крупнейших мировых продуцентов, большая часть металла добывается на месторождениях сульфидного медно-никелевого (Октябрьское, Талнахское в Норильском рудном районе) и медноколчеданного (Гайское и др.) типов. В Индонезии три четверти рудничного производства красного металла обеспечивает рудник на гигантском медно-порфировом месторождении Грасберг (*Grasberg*).

Прогноз мирового производства меди

Итак, в перспективе потребление меди будет расти и к 2035 г. может удвоиться, достигнув 48 млн т. При этом очевидно, что его сырьевая обеспеченность будет, по-прежнему, зависеть от рудничного производства и его способности соответствовать растущему спросу. В связи с этим актуален вопрос, а сможет ли мировая горнодобывающая промышленность справиться со стоящей перед ней задачей?

По оценкам *USGS*, мировые выявленные ресурсы* меди составляют 2,1 млрд т, из них запасы** — 830 млн т [15]. При текущем уровне рудничного производства запасы могут обеспечить деятельность горнодобывающих предприятий в течение примерно 35 лет, а ресурсы — более чем на столетие. Если же учесть так называемые «невыявленные ресурсы» (*undiscovered resources*), оцениваемые в 3,5 млрд т [15], то потенциальный срок обеспеченности добычи меди сырьем увеличивается более чем в 2 раза. Таким образом, даже при удвоении рудничного производства срок его обеспеченности все равно будет превышать 100 лет. То есть сырьевая база мира способна удовлетворить любой ожидаемый уровень добычи меди и в долгосрочной перспективе.

Однако возможности сырьевой базы не эквива-

* Здесь и далее под понятием «ресурсы» понимаются ресурсы категорий Measured+Indicated+Inferred международного стандарта *CRIRSCO*.

** Здесь и далее под понятием «запасы» понимаются запасы категорий Proved+Probable международного стандарта *CRIRSCO*.

лентны возможностям горной промышленности. Нас же интересуют именно возможности промышленности. В связи с этим был подготовлен прогноз мирового рудничного производства меди на период до 2035 г. В его основе — собранные и проанализированные данные по более чем 275 месторождениям меди — разрабатываемым и подготавливаемым к эксплуатации. Ожидаемое производство меди на разрабатываемых месторождениях рассчитано на основе фактического производства в 2018 г. с учетом планируемых проектов расширения действующих мощностей и их выбывания за счет исчерпания запасов и ресурсов металла. Основным источником информации служили отчеты горнодобывающих компаний.

В связи с отсутствием данных по всем объектам в ряде стран для получения максимально полной картины мировой медедобывающей промышленности недостающие объемы производства учитывались по данным официальной государственной и/или отраслевой статистики. Это касается, прежде всего, Китая, а также ДР Конго и стран Латинской Америки (Чили, Перу и др.).

Рассмотрим перспективы производства меди на базе текущих запасов разрабатываемых и подготавливаемых месторождений. Как показывает рис. 3 мировое рудничное производство металла за счет расширения мощностей ряда действующих предприятий и ввода в эксплуатацию серии новых объектов, на которых уже подсчитаны запасы к 2023 г. увеличится на 15 %. Достигнутый уровень может сохраниться до 2027 г. Однако в дальнейшем, если выбывающие запасы не будут компенсированы, неизбежно снижение производства; в результате в 2035 г. оно может оказаться на 6 % ниже уровня 2018 г. При этом необходимо иметь в

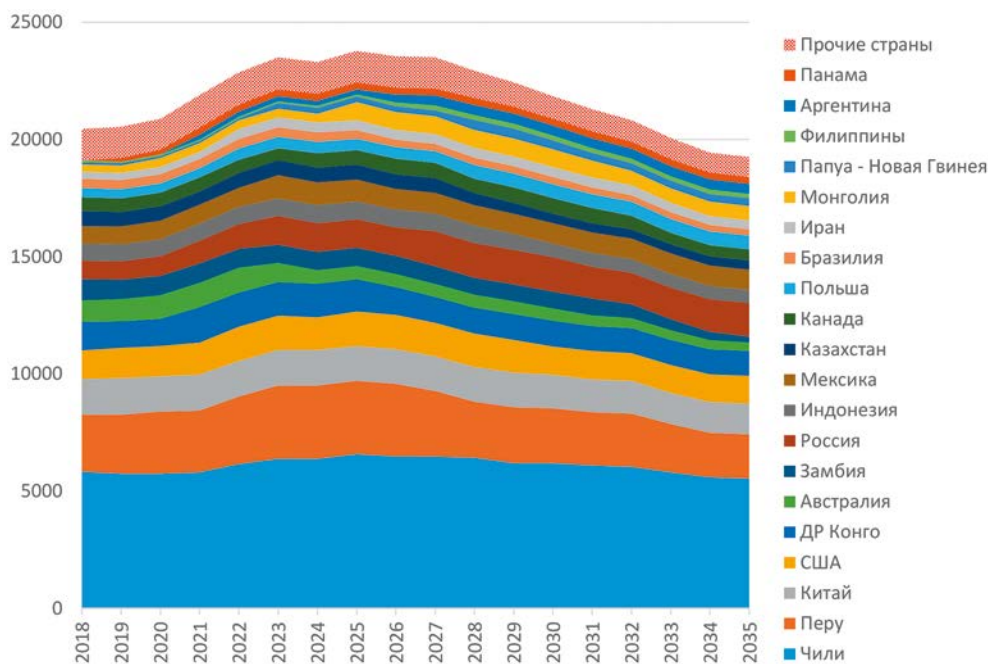


Рис. 3. Прогноз рудничного производства меди в ведущих и прочих странах-продуцентах до 2035 г. на базе актуальных запасов, тыс. т

виду, что за рубежом недропользователи даже располагая обширной ресурсной базой, способной обеспечивать добычу в течение десятилетий, обычно переводят в запасы только ее часть, достаточную для стабильной работы рудников в течение 10–15 лет. По мере необходимости они проводят геологоразведочные работы (ГРП) на флангах и/или глубоких горизонтах своих сырьевых объектов с целью поддержания уровня запасов. В связи с этим, учитывая количество уже выявленных ресурсов меди, можно уверенно говорить о том, что в реальности такого падения в мировом масштабе не будет, хотя некоторые продуценты, не располагающие резервными ресурсами, могут утратить свои позиции или вообще прекратить производство.

Если исходить из имеющегося на сегодняшний день количества запасов, то лидером по добыче меди останется Чили — ее запасы позволят вести стабильную добычу в течение всего рассматриваемого периода. Второе место, несмотря на возможное сокращение производства, сохранится за Перу. На третье место может выйти Россия, где реализуется целый ряд проектов, для которых запасы подсчитаны (Удоканское, Томинское и др.).

Рост производства меди на базе запасов ожидается также в Польше, Мексике и Монголии. Кроме того, в число крупных производителей меди могут войти Панама, Папуа — Новая Гвинея, Аргентина и Филиппины. В то же время, в ряде стран может наблюдаться сокращение производства меди в связи с возможным исчерпанием запасов металла в недрах. Помимо Перу, в число таких стран входят США, ДР Конго, Австралия, Замбия, Бразилия, Индонезия.

При этом важно отметить, что на половине проектов освоения новых месторождений меди запасы еще не подсчитаны — оценены только ресурсы металла. Однако именно они обеспечат основной прирост производства рудничной меди (рис. 4). В их числе ряд

месторождений, на базе которых ожидается создание весьма крупных рудников: Резольюшен (*Resolution*) в США (проектная мощность по меди 600 тыс. т), Эль-Пачон (*El Pachon*) в Аргентине (400 тыс. т), Тампакан (*Tampakan*) на Филиппинах (375 тыс. т), Ла-Гранха (*La Granja*) в Перу (300 тыс. т).

Своевременный ввод в эксплуатацию только 22 месторождений, на базе которых планируется создание самых крупных горнодобывающих предприятий (с годовой мощностью по меди более 140 тыс. т), к 2035 г. обеспечит дополнительно 5,6 млн т рудничного производства металла в год. Сопоставимое количество меди (4,6 млн т) дадут еще 83 объекта, характеризующихся меньшей производительностью.

В то же время подготовка к эксплуатации крупных и гигантских месторождений меди предполагает значительные финансовые вложения и, помимо этого, может осложняться целым рядом причин экономического, социально-политического и экологического характера. В связи с этим обычна ситуация, когда сроки освоения таких объектов сдвигаются. Рассмотрим несколько примеров.

Проект освоения медно-порфирирового месторождения Резольюшен в штате Аризона (США) предусматривает создание самого крупного нового горнодобывающего предприятия в мире. Месторождение полностью готово к началу эксплуатации, но его запуск может состояться не ранее 2030 г. из-за отсутствия необходимых разрешений на добычу. Получение разрешений затрудняется тем, что месторождение расположено в пределах «священных земель» североамериканских индейцев.

Освоение еще одного крупного золото-медно-порфирирового месторождения в США — Пebbл (*Pebble*) — затягивается по экологическим причинам. По мнению экологов его разработка приведет к загрязнению

залива Бристоль, в водах которого нерестится промысловая рыба. В 2020 г. в ходе реализации проекта намечился сдвиг — компания *Northern Dynasty*, его владелец и оператор, в течение лета ожидает получить окончательное решение о потенциальном воздействии проекта на окружающую среду от инженерно-строительного корпуса войск США. Если компания получит необходимые разрешения, месторождение будет введено в эксплуатацию в 2024 г.

Развитие проекта Тампакан на Филиппинах тормозил принятый еще в 2010 г. запрет на открытую горную добычу в провин-

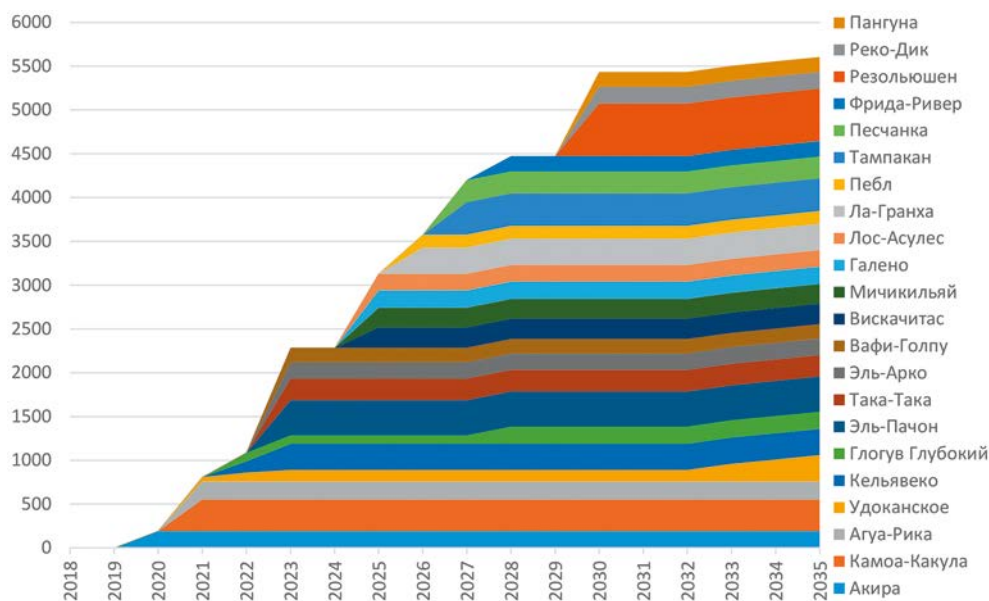


Рис. 4. Крупнейшие проекты освоения месторождений меди и их проектная годовая мощность по рудничному производству меди, тыс. т

ции Минданао. После прихода к власти в 2016 г. президента Родриго Дутерте, являющегося противником горнодобывающей деятельности, которая может негативно сказаться на окружающей среде, срок освоения месторождения сдвинулся на неопределенное время. Однако оператор проекта, компания *Sagittarius Mines Incorporated*, не теряет надежды на получение разрешения на добычу. В случае реализации, проект Тампакан станет крупнейшим медным рудником на Филиппинах с годовым объемом производства металла 375 тыс. т.

Среди проектов, расположенных в странах с высокими политическими рисками, внимания заслуживает проект освоения золото-медно-порфириового месторождения Реко-Дик (*Reko Diq*) в Пакистане. Компания *Tethyan Copper Co. Pty. Ltd.* (37,5 % — *Antofagasta Plc*, 37,5 % — *Barrick Gold Corp.*, 25 % — правительство Белуджистана) провела разведку месторождения, выполнила работы по оценке влияния проекта на окружающую и социальную среду, и подала документы на получение добычной лицензии. Однако правительство провинции Белуджистан отказало *Tethyan* в лицензии без объяснения причин. Судебное разбирательство, инициированное компанией, длилось почти 10 лет. Только в середине 2019 г. *Antofagasta Plc* заявила о присуждении арбитражным судом *ICSID* компенсации *Tethyan* в размере 5,84 млрд долл. [1]. После решения суда, правительство Белуджистана начало активный поиск местных инвесторов для реализации проекта, который может ежегодно обеспечивать 200 тыс. т меди и 250 тыс. тр. унций золота.

В России одним из самых «долгоиграющих» проектов является проект освоения Удоканского месторождения медистых песчаников в Забайкальском крае — крупнейшего по запасам меди в стране. Сроки реализации проекта неоднократно переносились из-за отсутствия необходимого финансирования, а также технологии переработки руд. Ситуация изменилась в 2018 г., когда компания ООО «Байкальская горная компания» согласовала технический проект разработки месторождения и начала строительство объектов инфраструктуры. Ожидается, что добыча руд начнется уже в 2021 г.

Несмотря на возникающие проблемы, для мировой медедобывающей промышленности первостепенным является наличие сырьевых ресурсов металла, которые могут быть вовлечены в отработку при росте спроса на него.

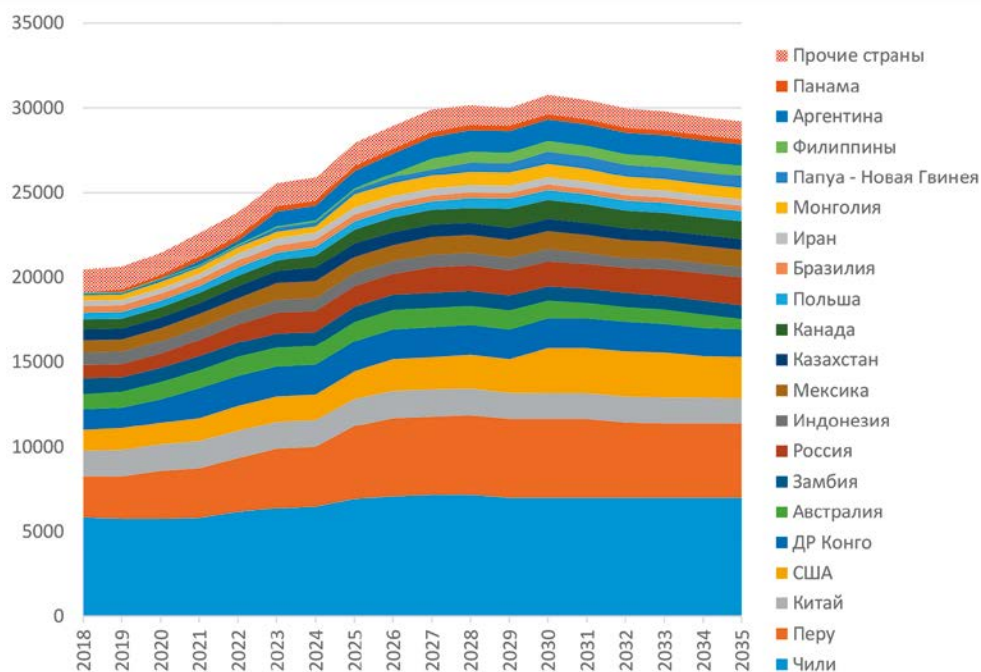


Рис. 5. Прогноз рудничного производства меди в ведущих и прочих странах-производителях до 2035 г. на базе актуальных ресурсов, тыс. т

Итак, если мы рассмотрим прогноз рудничного производства меди, выполненный на базе ресурсов (рис. 5), то увидим, что некоторые из рассмотренных выше стран располагают богатым ресурсным потенциалом металла. Особенно это актуально для Перу, активное развитие медедобывающей промышленности которой началось в последние 5 лет и на большей части подготавливаемых к эксплуатации месторождений страны пока оценены только ресурсы меди. В случае их вовлечения в эксплуатацию производство меди в стране не только не уменьшится (как мы могли бы ожидать, исходя только из имеющихся на сегодняшний день запасов), а увеличится почти вдвое. Удвоение рудничного производства меди также можно ожидать в США, в основном за счет реализации проектов Резольюшен и Пиббл. Кроме того, на 36 % может увеличиться производство в ДР Конго, на 20 % — в Чили. При этом остальные страны (Австралия, Замбия, Бразилия, Индонезия) по-прежнему останутся в зоне риска сокращения добычи, но уже не в таких значительных объемах. Что касается России, то согласно прогнозу, выполненному с учетом ресурсов меди, оцененных на месторождениях мира, к 2035 г. она также имеет шансы подняться в рейтинге мировых производителей рудничной меди, но лишь на пятое место.

В целом, с учетом ресурсов, мировое рудничное производство меди может увеличиться на 43 %, достигнув пика в 2027–2031 гг. При этом считаем важным подчеркнуть, что прогноз, выполненный на базе ресурсов медных месторождений мира, является более достоверным, нежели прогноз, основанный только на запасах металла, поскольку, как уже нами отмечалось, в перспективе ресурсы по мере необходимости будут переводиться в запасы.

В то же время при любом прогнозировании необходимо иметь в виду возможные риски, которые могут носить экономический, социально-политический и даже климатический характер. На уровень производства могут влиять забастовки, торговые эмбарго, запреты, связанные с использованием детского труда (в ДР Конго), ливневые дожди и засухи. Если говорить о текущей ситуации, то отдельно необходимо упомянуть влияние на мировую медедобывающую промышленность пандемии вируса *COVID-19* и мер по сдерживанию его распространения. Так, агентство *S&P Global* на фоне пандемии сократило свой прогноз мирового рудничного производства меди в 2020 г. на 3 %, до 19,6 млн т, а производства рафинированной меди — на 2,6 %, до 23,5 млн т [14].

Прогноз баланса спроса и предложения меди на мировом рынке

Рассмотрев перспективы потребления меди и ее производства, вернемся к ключевому вопросу: сможет ли мировая медедобывающая промышленность обеспечить потенциальный спрос на металл? Для ответа на этот вопрос на перспективу до 2035 г. нами был составлен баланс потенциального спроса (потребления) и предложения (производства) меди в мире, включающий разные сценарии роста потребления и развития производства металла. Для потребления на основании анализа имеющихся прогнозов, представленных на рис. 2, были выбраны три сценария роста:

- пессимистический — на 2 % в год — предложен на основе прогнозных данных *Roskill*, *McKinsey Global Institute*, а также сценариев *SSP3* и *SF* исследователей из Нидерландов и Йельского университета;

- базовый — на 2,8 % — соответствует среднегодовому росту потребления меди в 2007–2018 гг. Аналогичные темпы подразумевают сценарии *SSP2-SSP4* (нидерландские ученые), близкие показатели у сценариев *MF-PF* (специалисты Йельского университета) и прогнозов *DBS Group* и *Fitch Solutions*;

- оптимистический — на 3,5 % — соответствует сценариям *SSP1-SSP5* и *EF*, предложенным исследователями из Нидерландов и Йельского университета.

Для производства была использована оценка, выполненная на базе ресурсов разрабатываемых и подготавливаемых к эксплуатации месторождений.

Согласно проведенному анализу, производство меди на ныне разрабатываемых месторождениях к

2035 г. сократится на 7 % из-за истощения сырьевой базы ряда объектов. В то же время, возможный рост производства вторичной меди (примерно в 1,8 раз к 2035 г.) может полностью компенсировать выбывание этих мощностей.

Рассмотренные проекты освоения новых месторождений меди нами условно разделены на три группы:

- «ожидаемые» — к ним отнесены проекты, реализация которых при текущих условиях наиболее вероятна — на них уже ведутся работы по строительству рудников и объектов инфраструктуры. В число этих проектов входят Камоа-Какула (Камоа-Kakula) в ДР Конго, Кельявеко (Quellavenco) в Перу, Удоканское в России и др. Следует учитывать, что отнесение того или иного проекта к этой наиболее перспективной группе не означает его своевременную реализацию из-за указанных выше рисков;

- «возможные» — в их число вошли проекты, которые ожидают получения необходимых разрешений, привлечения финансирования и благополучного завершения прочих подготовительных процедур, а также проекты, на которых геологоразведочные работы еще не завершены, но уже имеется предварительная проектная документация (Пебл, Резольюшен в США, Малмыжское в России и др.);

- «приостановленные» — отнесены законсервированные проекты, реализация которых в настоящее время не ведется, но при необходимости может возобновиться (Тампакан на Филиппинах, Реко-Дик в Пакистане, Пангуна (Panguna) в Папуа-Новой Гвинее).

Основное количество «ожидаемых» и «возможных» проектов, как планируется, будет вводиться в эксплуатацию с 2025 г., и в 2035 г. они совокупно обеспечат

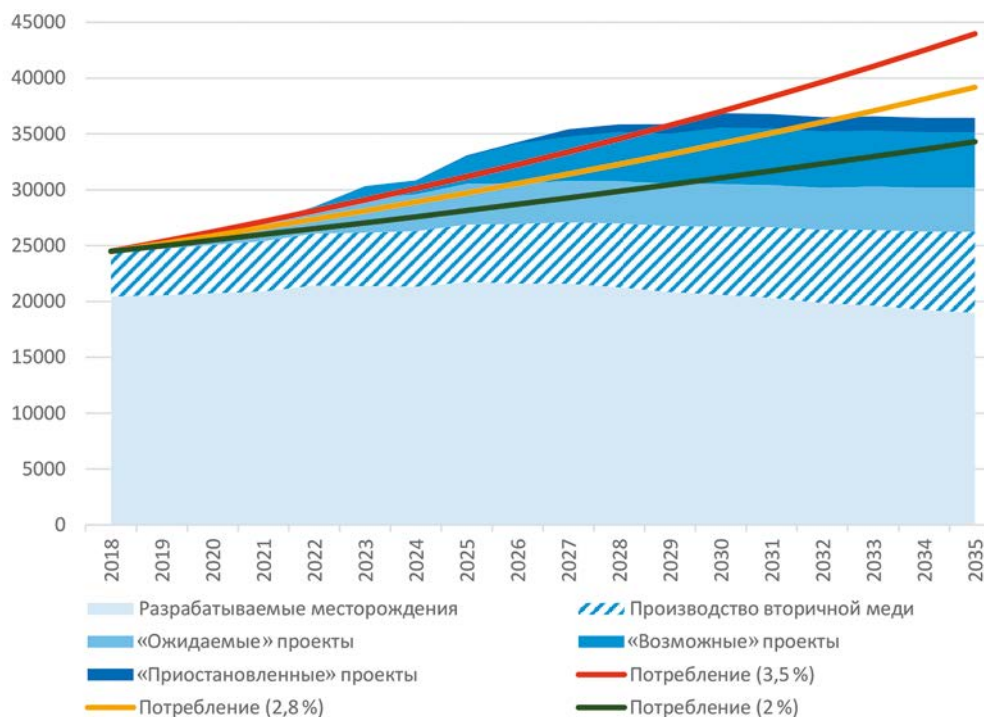


Рис. 6. Возможные сценарии роста производства и потребления меди до 2035 г., тыс. т

производство 3,9 и 5 млн т меди в год соответственно. «Приостановленные» проекты (в случае их расконсервации в рассматриваемый период времени) в 2035 г. могут дать лишь около 1,3 млн т меди.

Для полноты картины учтено производство меди из вторичных источников.

Возможный баланс спроса/предложения меди на мировом рынке до 2035 г. при реализации различных вариантов вводных условий представлен на рис. 6.

В случае, если мировое потребление меди будет расти по пессимистическому сценарию (+2 % в год), реализация «ожидаемых» и «возможных» проектов планируемыми темпами приведет к огромному (до 5 млн т и более) профициту металла в период до 2027–2028 гг. Только в 2029 г. потенциальное потребление металла достигнет уровня, при котором оно сможет поглотить все дополнительное производство, исходящее от «ожидаемых» проектов (без участия «возможных»). И только после этого появляется «ниша» для металла «возможных» проектов, однако если большинство «возможных» проектов не будут своевременно введены в эксплуатацию к 2035 г. могут возникнуть трудности с обеспечением промышленности медью.

При развитии ситуации по такому сценарию весьма вероятно смещение сроков ввода в эксплуатацию части «ожидаемых» и «возможных» проектов с тем, чтобы гармонизировать уровень добычи с уровнем потребления в период до 2030 г. В противном случае следует ожидать значительное снижение цен на медь, что приведет к ужесточению конкурентной борьбы между медедобывающими предприятиями и вытеснению с рынка наименее эффективных из них.

При реализации базового сценария роста потребления (+2,8 % в год) и плановой реализации всех проектов освоения новых месторождений до 2032 г. на рынке будет сохраняться профицит, размер которого в 2026–2027 гг. может превысить 3,5 млн т металла в год. Он, как мы уже говорили применительно к пессимистическому сценарию, либо будет смягчен за счет переноса сроков ввода проектов в эксплуатацию на более отдаленную перспективу, либо вызовет падение цен и обострение конкурентной борьбы между производителями. В случае запуска всех проектов, включая «приостановленные», дефицит может возникнуть только после 2033 г. и в 2035 г. он может составить 3 млн т.

При реализации оптимистического сценария роста потребления (+3,5 % в год) дефицит металла на рынке может возникнуть уже после 2030 г. и даже раньше, если ввод в эксплуатацию каких-то из «ожидаемых» или «возможных» проектов будет задерживаться. Однако даже при таком высоком темпе роста потребления в период с 2022 по 2029 г. рынок меди может оказаться профицитным. При этом к концу рассматриваемого периода дефицит меди может достичь 7,5–18 млн т в зависимости от успешности реализации проектов.

При любом сценарии развития дефицита меди его формирование даст толчок к росту цен на металл, что повысит интерес инвесторов к металлу и активизиру-

ет работы по подготовке новой серии проектов освоения на уже известных месторождениях, которые пока находятся в неактивном состоянии. Стимулом для активизации таких работ может стать даже не сам дефицит, а его опасения. Такое развитие уже наблюдалось в середине 2000-х годов, когда ажиотажный спрос на широкий спектр металлов со стороны промышленности Китая стал стимулом для широкомасштабных работ по развитию мировой сырьевой базы, включая медную.

Говоря о перспективах дефицита, также следует иметь в виду, что в период профицита металла, который возможен при любом из рассмотренных нами сценариев, его излишки будут где-то (у производителей, потребителей или трейдеров) накапливаться и смогут на протяжении некоторого времени этот дефицит компенсировать, как это мы видим в настоящее время. В связи с этим можно говорить о том, что дефицит если и возникнет, то с некоторой отсрочкой относительно временных рубежей, показанных на рис. 6.

Таким образом, исходя из текущего состояния медедобывающей промышленности и тенденций ее развития, можно утверждать, что при любых темпах роста потребления меди спрос на нее может быть обеспечен сырьем как минимум до 2030 г. Что касается более отдаленной перспективы, говорить о которой можно с большой долей условности, то при определенных обстоятельствах на мировом рынке может возникнуть дефицит меди. Однако маловероятно, что он будет длительным. Наша уверенность в этом связана с тем, что реакцией отрасли на расширение спроса на металл, безусловно, будет активизация процесса подготовки к эксплуатации уже известных месторождений и поиска новых, особенно в странах с большим потенциалом (Перу, Аргентина, Мексика, Панама, Индонезия, Монголия и др.). При этом необходимо иметь в виду, что даже при реализации в срок всех проектов, которые рассматривались в настоящей статье, накопленная добыча составит порядка 550–600 млн т меди, тогда как ее выявленные ресурсы уже сегодня составляют 2,5 млрд т. Поэтому можно с уверенностью говорить о том, что даже при недостаточной результативности геологоразведочных работ на медь имеется достаточное количество ресурсов для дальнейшего расширения производства металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Antofagasta Plc. News. Reko Diq Project — Arbitration Award.* 12.07.2019. URL: <https://www.antofagasta.co.uk/investors/news/2019/reko-diq-project-arbitration-award/> (дата обращения: 02.08.2020).
2. *Bloomberg Finance L.P. Electric Vehicle Outlook 2019.* URL: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/#toc-download> (дата обращения: 02.08.2020).
3. *DBS Group Research. Copper And Its Electrifying Future.* May 2018. URL: https://www.dbs.com/aics/templatedata/article/generic/data/en/GR/102018/181004_insights_copper_and_its_electrifying_future.xml (дата обращения: 02.08.2020).
4. *EV-volumes.com. Global EV Sales for 2018 — Final Results.* URL: <http://www.ev-volumes.com/news/global-ev-sales-for-2018/> (дата обращения: 02.08.2020).

5. *International Copper Association, Ltd. Copper Alliance. Copper in EV Charging — An Emerging Standard Around Wireless Charging.* URL: <https://copperalliance.org/trends/copper-in-ev-charging-an-emerging-standard-around-wireless-charging/> (дата обращения: 02.08.2020).
6. *International Copper Association, Ltd. Copper Alliance. Future China Transport.* November 2019. URL: <https://copperalliance.org/wp-content/uploads/2019/11/04-Future-china-transport-v22.pdf> (дата обращения: 02.08.2020).
7. *International Copper Association, Ltd. Copper Alliance. The Electric Vehicle Market and Copper Demand.* June 2017. URL: <https://copperalliance.org/wp-content/uploads/2017/06/2017.06-E-Mobility-Factsheet-1.pdf> (дата обращения: 02.08.2020).
8. *International Copper Association, Ltd. Data Set. Global 2019 Semis End Use Data.* URL: <https://copperalliance.org/trends-and-innovations/data-set/> (дата обращения: 02.08.2020).
9. *International Copper Study Group. ICSG 2018 Statistical Yearbook.*
10. *International Energy Agency. Global EV Outlook 2019.* May 2019. URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019> (дата обращения: 02.08.2020).
11. *Mining.com. Global wind turbine fleet to consume over 5.5Mt of copper by 2028 — report.* 02.09.2019. URL: <https://www.mining.com/global-wind-turbine-fleet-to-consume-over-5-5mt-of-copper-by-2028-report/> (дата обращения: 02.08.2020).
12. *ScienceDirect. Copper demand, supply, and associated energy use to 2050.* 06.06.2016. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378016300802> (дата обращения: 02.08.2020).
13. *ScienceDirect. Estimating global copper demand until 2100 with regression and stock dynamics.* 04.01.2018. RL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344918300041> (дата обращения: 02.08.2020).
14. *S&P Global Market Intelligence. COVID-19 impacts to metals prices — The end of the beginning.* 11.05.2020. URL: <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/research/covid-19-impacts-to-metals-prices-the-end-of-the-beginning> (дата обращения: 02.08.2020).
15. *USGS. National Minerals Information Center. Copper Statistics and Information. Annual Publications. Mineral Commodity Summaries. Copper.* URL: <https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/mcs-2019-copper.pdf> (дата обращения: 02.08.2020).

© Смольникова А.В., Лаптева А.М., 2021

Смольникова Анастасия Владимировна // anastasiyaakimova@ya.ru
Лаптева Анна Михайловна // lapteva@vims-geo.ru

ОХРАНА НЕДР И ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.064.2.001.18

Экзарьян В.Н., Рукавицын В.В. (МГРИ-РГГРУ)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

*В статье описана методика оценки социального риска, спровоцированного загрязнением окружающей среды в результате аварий на опасных промышленных объектах. Методика является универсальной и подходит для большинства опасных промышленных объектов. Для анализа риска применялась совокупная оценка вероятности наступления аварийной ситуации и интегральная оценка загрязнения окружающей среды, включающая оценку загрязнения воздуха, почвы, поверхностных и подземных вод, а также радиоактивное загрязнение. **Ключевые слова:** риск, загрязнение окружающей среды, аварии, радиация, опасные промышленные объекты.*

Ekzaryan V.N., Rukavitsyn V.V. (MGRI-RGGRU)

METHODOLOGY OF ENVIRONMENTAL POLLUTION RISK ASSESSMENT CAUSED BY ACCIDENTS AT HAZARDOUS INDUSTRIAL FACILITIES

The article describes the methodology of social risk assessment caused by environmental pollution, that is a result of accidents at hazardous industrial facilities. The methodology is universal and suitable for most hazardous industrial objects. For risk analysis there were used a combined assessment of

*the probability of an accident and an integrated assessment of environmental pollution, including an assessment of air, soil, surface and groundwater pollution, as well as radioactive pollution. **Keywords:** risk, environmental pollution, accidents, radiation, hazardous industrial facilities.*

Введение

Опасные промышленные объекты являются источником разнообразных рисков как для окружающей среды, так и для человека. Однако универсальной и единой методики оценки таких рисков пока так и не было разработано. В зависимости от решаемых задач следует оценивать различные риски. Показателями, позволяющими судить о предмете оценки риска, являются: индивидуальный риск, потенциальный риск, коллективный риск, социальный риск, технический (материальный риск) и экологический. Они входят в число используемых для всесторонней оценки риска аварий и их последствий. В данной статье речь пойдет об оценке социального риска от аварий на опасных промышленных объектах. Предложенная методика позволяет оценивать социальный риск от разных объектов, имеющих различные поражающие факторы. При этом для оценки используется не столько анализ самих факторов, сколько анализ их последствий для окружающей среды. Человек и его состояние в этой схеме являются своеобразным индикатором совокупного негативного воздействия на окружающую среду, что позволяет оценивать риск наиболее универсально.

Существует принципиальное отличие в методологии оценки экологического риска для человека и дру-