DOI: 10.25515/PMI.2017.6.641

Горное дело

УДК 622.338

ОПЫТ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ТИПА НА УРАЛЕ

И.А.АЛТУШКИН[1], **В.В.ЛЕВИН**[1], **А.В.СИЗИКОВ**[2], **Ю.А.КОРОЛЬ**[1]
[1] *АО «Русская медная компания», Екатеринбург, Россия*
[2] *АО «Михеевский ГОК», Челябинск, Россия*

Русская медная компания первой в России приступила к освоению медно-порфировых месторождений. В 2013 г. был введен в эксплуатацию Михеевский ГОК производительностью 18 млн т руды в год. Использование инновационных подходов в выборе технологии, высокопроизводительного оборудования и организации строительства позволили вывести предприятие на проектную мощность и достичь всех ожидаемых результатов за три года от начала строительства. На основании опыта, приобретенного при проектировании, строительстве и эксплуатации Михеевского ГОКа, в 2017 г. компания приступила к строительству нового ГОКа на Томинском месторождении. На первом этапе предусматривается мощность предприятия 28 млн т с возможным увеличением до 56 млн т. Освоение медно-порфировых месторождений на Урале позволит обеспечить сырьем медные заводы на ближайшие 80-100 лет.

***Ключевые слова*:** медь, золото, медно-порфировые руды, карьер, обогатительная фабрика, мельница, конвейер, твердость пород, извлечение, эффективность добычи, экология

***Как цитировать эту статью*:** Опыт освоения месторождений медно-порфирового типа на Урале / И.А.Алтушкин, В.В.Левин, А.В.Сизиков, Ю.А.Король // Записки Горного института. 2017. Т. 228. С. 641-648. DOI: 10.25515/PMI.2017.6.641

Месторождения медно-порфирового типа принадлежат к продуктам эндогенной металлогении и, как правило, входят в состав значительных рудно-магматических систем. Эти руды не контрастные и существенно отличаются от традиционных для Урала медно-колчеданных руд как по физико-химическим свойствам, так и по содержанию меди, золота, серебра, свинца, цинка и другим попутным металлам. Еще 30-40 лет назад медно-порфировое оруденение считалось нехарактерным для Урала и только геологоразведочные работы последних десятилетий позволили «узаконить» этот тип месторождений в данном регионе. Необходимость разведки и освоения новых типов руд была продиктована прогнозируемым исчерпанием запасов медно-колчеданных руд, являющихся основным сырьем для медной отрасли в России [1, 5, 7]. На фоне преимущественного получения в мире меди из медно-порфировых руд реализация проектов по расширению сырьевой базы металлургических предприятий на Урале позволит не только загрузить мощности, сохранить моногорода, обеспечить налоговые поступления и выполнение социальных программ, но и значительно снизить негативное влияние на экологию регионов в связи с отсутствием вредных примесей или крайне незначительной их величине в этом типе руд.

В соответствии с классификацией А.И.Кривцова Уральская медно-порфировая провинция относится к базальтоидному вулкано-плутоническому поясу (рис.1), представленному периокеаническими эвгеосинклиналями (островодужными геоструктурами) [7, 3, 14]. Одной из отличительных особенностей этого типа руд является крайне низкое содержание молибдена и, соответственно, высокое отношение меди к этому металлу. Рассматривая непосредственно уральскую зону, геологи выделяют следующие наиболее подготовленные к разработке и осваиваемые в настоящее время объекты: Гумешевское, Вознесенское, Томинское, Тарутинское, Михеевское, Бенкалинское и Салаватское месторождения, Верхнеуральское рудопроявление [3, 6]. Все уральские медно-порфировые руды помимо меди содержат незначительные количества золота, серебра, платины и палладия. При этом распределение попутных металлов между месторождениями крайне неравномерное, так содержание платины и палладия в Томинском месторождении составляет 6,8-20 и 42-76 мг/т соответственно, а в Михеевском от 400 до 3200 мг/т платины и от 600 до 2100 мг/т палладия. Содержание золота во всех объектах находится в пределах 70-300 мг/т. Руды содержат также значимые количества рения [6, 9, 13]. По мнению А.И.Грабежева Урал можно и нужно рассматривать не только как новую промышленную медно-порфировую, но и как ренieносную провинцию [2].

DOI: 10.25515/PMI.2017.6.641

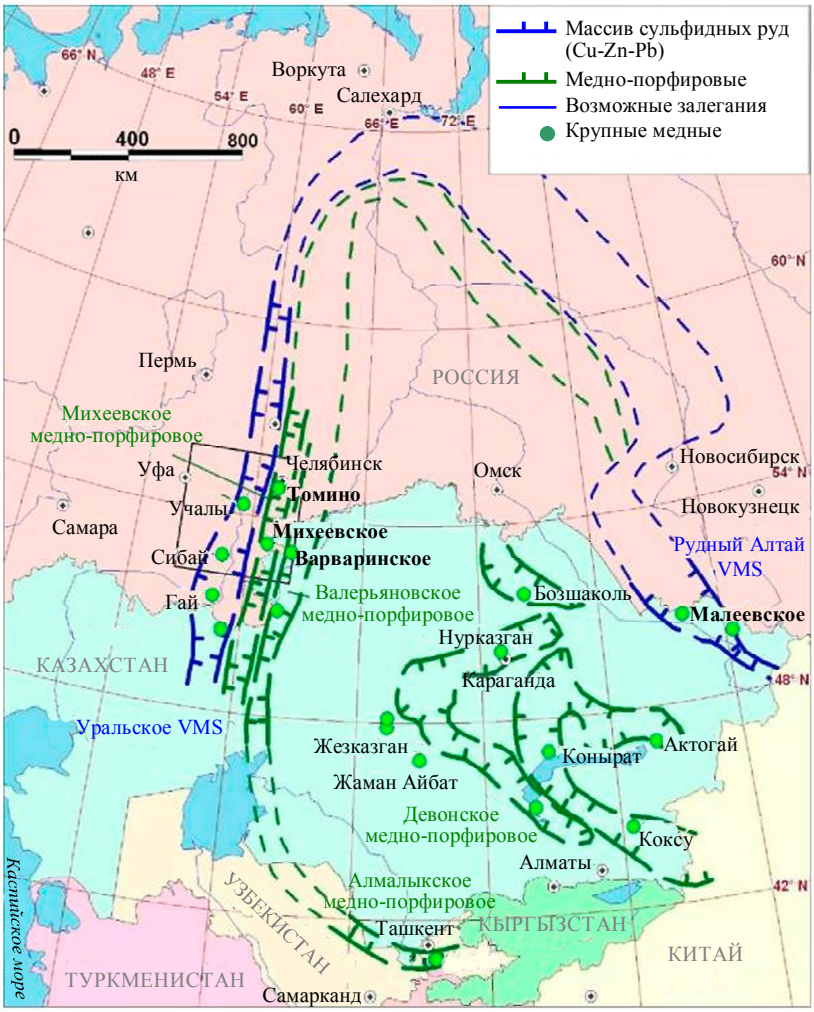


Рис.1. Медно-колчеданные и медно-порфировые руды и рудопроявления в пределах Урала и Центральной Азии

Авторы работ [4, 8] отмечают, что помимо хорошо разведанных и уже осваиваемых месторождений в Челябинской обл., имеются перспективные площади и рудопроявления медно-порфировых руд на Среднем Урале, в том числе в Артемовско-Алтынайском рудно-магматическом ареале в Свердловской обл. Аналогичные месторождения и рудопроявления отмечены и в Оренбургской обл. в Медногорской (Утягуловско-Блявинской), Ащебутакской, Джусинско-Акжарской, Киембаевской, Курмансайской, Еленовско-Кумакской и Кыдыбаевской зонах [8, 10-12, 15].

Низкие содержания металлов в медно-порфировых рудах приводят к необходимости строительства мощных горно-обогатительных комбинатов с целью обеспечения рентабельной отработки месторождений. В регионах традиционной и уже сложившейся добычи меди из порфировых руд все вновь вводимые рудники превышают мощность в 20 млн т, так рудник Escondida в Чили стоимостью 1,8 млрд дол. имеет производительность 45 млн т, рудник Grasberg в Индонезии стоимостью 2,2 млрд дол. перерабатывает 88 млн т руды в год.

Необходимость перемещения огромного объема руды привела к изменению компоновочных схем обогатительных фабрик с размещением стадии первичного дробления на борту карьеров или непосредственно в нем, являясь обязательной составляющей циклично-поточной технологии ведения горных работ. В качестве дробильного оборудования используются конусные дробилки (стационарные или подвижные), размещаемые в зоне проведения горных работ, производительностью от 1000 до 10000 т/ч.

На второй стадии дробления (измельчения) процессы рудного полусамоизмельчения (ПСИ) практически полностью вытеснили традиционные схемы стадиального дробления. Использование мельниц ПСИ диаметром до 12 м позволяет обеспечить высокую удельную производительность оборудования с максимальной автоматизацией производственных процессов.

На стадии флотации мировые тенденции направлены на упрощение технологических схем и увеличение объемов флотомашин. Типы перерабатываемых медно-порфировых руд, особенно соотношение меди и молибдена накладывают определенные особенности на технологию обогащения и компоновочные решения по оборудованию для различных месторождений, что делает их отличными друг от друга. Преобладающей схемой является флотация в открытом цикле с доработкой промпродукта основной флотации в отдельном флотационном цикле с предварительным его доизмельчением. В основной флотации используются импеллерные флотомашины объемом 100-300 м^3 и выше. На операциях очистки, доводки, контрольной флотации распространение получают как импеллерные флотомашины, так и колонные (пневматические).

DOI: 10.25515/PMI.2017.6.641



Рис.2. Горная техника на Михеевском ГОКе



Рис.3. Карьер Михеевского ГОКа

Разведка и постановка на баланс медно-порфировых месторождений в России, в частности на Урале, а также перспектива существенного прироста запасов в ближайшие годы, позволили приступить к их непосредственному освоению. Первый опыт реализации проекта по добыче и переработке такого типа месторождений был осуществлен в 2013 г. ЗАО «Русская медная компания» путем строительства и запуска в эксплуатацию Михеевского ГОКа [5].

В России до этого не было опыта строительства и эксплуатации рудников и обогатительных фабрик по добыче и переработке медно-порфировых руд, тем более производительностью 18 млн т. Мощности наиболее крупных российских ГОКов, построенных еще в советское время, в области добычи и переработки тяжелых цветных металлов не превышают 6-9 млн т (ГМК «Норильский Никель», Гайский ГОК). Особенности переработки руд повышенной крепости с низким содержанием меди, отсутствие существенных количеств попутных металлов, формирующих товарную ценность руды, а также необходимость организации крупнотоннажного производства наложили определенные ограничения в принятии мощности Михеевского ГОКа. Но уже на стадии проектирования и строительства была предусмотрена этапность и очередность реализации этого проекта в зависимости от приобретаемого опыта в освоении месторождения.

Медно-порфировое месторождение на Урале до 2003 г. находилось на стадии разведки и подсчета запасов. После 2007 г. Русская медная компания провела дополнительные геологоразведочные и исследовательские работы по уточнению запасов. По их результатам объемы товарной руды и меди существенно приросли. С учетом погашения запасов по состоянию на 2016 г. балансовые запасы руды на месторождении составили 690 млн т, в том числе меди более 2,7 млн т, золота более 75 т и серебра до 848 т.

В соответствии с утвержденным проектом добыча руды ведется открытым способом с использованием горной техники большой единичной мощности: экскаваторы KOMATSU PC4000-6D объемом ковша 22 м^3; карьерные самосвалы KOMATSU 730E-AC грузоподъемностью 186 т; буровые станки PV235 и PV271 (рис.2). В августе 2017 г. длина карьера была равна 1900 м, ширина 1000 м и глубина 180 м (рис.3). Объем вывезенной горной массы составил 59,49 млн м^3.

За время отработки месторождения добыто 62,7 млн т руды, в том числе меди 261 тыс. т. Объемы добычи руды и ее переработки по годам представлен на рис 4.

При реализации проекта по добыче порфировых руд были использованы следующие нововведения и инновационные решения:

• проектирование и строительство рудника высокой мощности с использованием горной техники и обогатительного оборудования высокой удельной производительности;

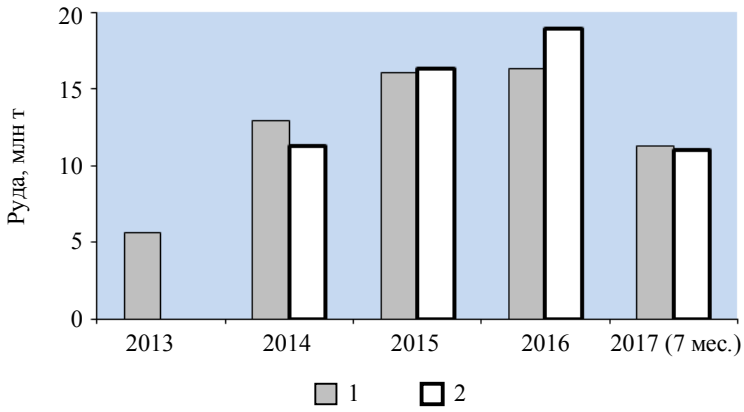


Рис.4. Объемы добычи руды по годам
1 и 2 – добыча и переработка руды

DOI: 10.25515/PMI.2017.6.641



Рис.5. Мельница ПСИ



Рис.6. Флотомашины основного цикла



Рис.7. Участок флотации

• размещение дробильного комплекса в карьере;

• сбор и использование всех карьерных и подотвальных вод для внутреннего водопотребления обогатительной фабрики;

• максимальная автоматизация ведения горных работ с организацией компьютерного учета всех производственных циклов, как при планировании, так и при практическом их осуществлении.

При проектировании и строительстве мощностей по переработке руды Русская медная компания привлекла ведущих мировых исследователей, проектировщиков и изготовителей обогатительного оборудования, в том числе «Outotec», «Механобр-инжиниринг», «AMMTEC», «Metso Minerals», «Warman», «Компания Профстрой».

При выборе, закупе и поставке основного обогатительного оборудования компания руководствовалось следующими основными моментами:

• максимальные технико-экономические показатели оборудования;

• максимальная удельная мощность и производительность;

• удобство монтажа, ремонта и обслуживания;

• обеспечение безопасных условий работы как для обслуживающего персонала, так и для окружающей природной среды;

• соответствие закупаемого оборудования самым последним мировым достижениям как по технологическим показателям, так и по исполнению машин и механизмов [3].

На рис.5-7 представлено технологическое оборудование на участках измельчения и флотации.

В обогатительном цикле смонтированы гирационная дробилка Superior 60-89 MK II мощностью 600 кВт, конусные дробилки производительностью 300 т/ч, работающие с двухдечными грохотами, мельницы полусамоизмельчения SAG 36'×20,7" диаметром 11 м и мощностью 17 МВт, производительностью 1500 т/ч, мельница полусамоизмельчения SAG 22'×28,5' диаметром 6,7 м, шаровые мельницы 26'×44,6' диаметром 7,9 м и мощностью 17 МВт, флотационные машины основной флотации ТС 300, первой перечистной и контрольной флотации ТС 100, а также ТС 50 и ТС 30. На стадии доизмельчения установлены шаровая мельница МШЦ 5,5×8,4 м и Isamill M 10000 мощностью 3000 кВт. Обезвоживание медного концентрата выполняется с использованием сгустителя Supaflo-17, производительностью 51 т/ч и следующего за ним напорного фильтр-пресса производительностью 26 т/ч, площадью фильтрации 200 кв.м для получения конечного продукта с влажностью 10 %.

Использование высокоэффективного оборудования позволило добиться высоких показателей комплексности использования природных ресурсов при переработке бедных медно-порфировых руд. Результаты извлечения меди по годам и содержанию в отвальных хвостах

DOI: 10.25515/PMI.2017.6.641

представлены на рис.8. Стабильный рост извлечения меди до регламентных 85 % предопределен уменьшением доли окисленной части в перерабатываемых рудах по мере отработки месторождения и строго соответствует ожидаемым проектным показателям.

За рассматриваемый период было выпущено 1083 тыс. т медного концентрата, содержащего 195 тыс. т меди, 3,7 т золота и 40,2 т серебра.

За непродолжительный период работы ГОКа в бюджеты всех уровней выплачено более 4 млрд руб. при полученной товарной продукции на сумму 49 млрд рублей без НДС (рис.9).

В настоящее время на предприятии работают 1081 человек, средний возраст которых 37 лет, средний уровень заработной платы по ГОКу превышает 47,5 тыс. руб. Более 700 человек задействовано в работе подрядных организаций, оказывающих услуги руднику и фабрике.

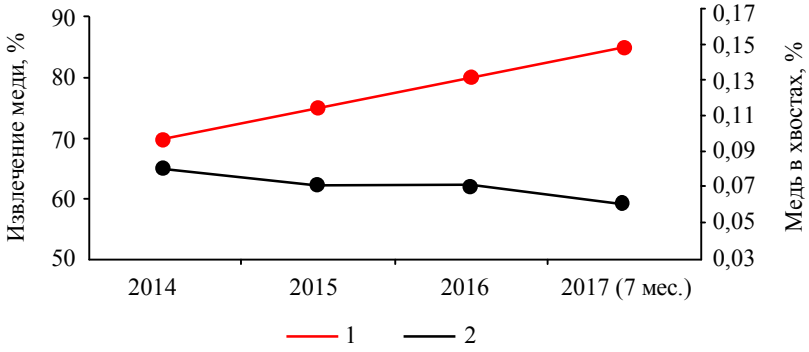


Рис.8. Качественные технологические показатели обогащения
1 – извлечение меди, %; 2 – медь в хвостах, %

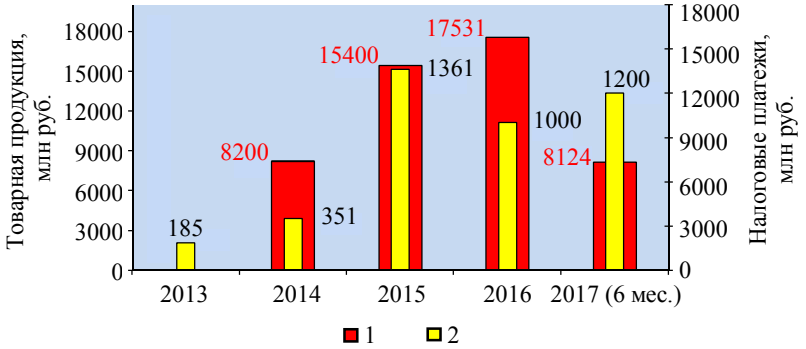


Рис.9. Выручка от реализации, налоговые платежи и выплаты за период 2013-2017
1 – товарная продукция; 2 – налоговые платежи (уплачено)

Устойчивая работа Михеевского ГОКа обеспечила соблюдение природоохранного законодательства по размещению отходов, сбросам в водные объекты и выбросы в окружающую среду. Работники комбината активно участвуют в озеленении территории, обеспечении безопасных условий труда на рабочих местах и зонах проживания работников предприятия.

Полученный опыт в освоении месторождения позволил Русской медной компании перейти к реализации второго этапа развития проекта, заключающегося в следующем:

• увеличение мощности рудника, обогатительной фабрики и дальнейшее развитие объектов инфраструктуры;

• повышение технологических показателей и качества производимого концентрата.

Предпосылкой для первого направления – увеличения мощности ГОКа явились не только мировой опыт и тенденции развития проектов по освоению медно-порфировых месторождений, но и существенный прирост запасов в результате проведенных геологоразведочных работ и корректировке проекта добычи руды. Извлекаемые запасы всех типов руд были увеличены с 350 до 753 млн т. Одним из существенных факторов прироста запасов стала корректировка проекта вскрытия месторождения с увеличением глубины карьера с 350 до 550 м. Корректировка проекта, в свою очередь, стала возможной на основании практических результатов по освоению месторождения, наличия высокопроизводительной горной техники, достаточно высокого уровня мировых цен на медь при разумных затратах на добычу руды.

Второе направление было вызвано тем, что достигнутые результаты по извлечению меди хоть и находятся на уровне показателей проекта, но, по мнению специалистов ГОКа, имеют резерв для их улучшения. Анализ технологических показателей передела обогащения показал, что извлечение меди можно увеличить за счет более полного раскрытия рудных минералов на стадии измельчения. При этом, в соответствии с проектом крупность измельчения по классу – 150 мкм должна составлять 80 %, фактически этот показатель превышен и равен 82-88 % (рис.10).

При разработке технологического регламента обогащения руды Михеевского месторождения ЗАО «Механобр инжиниринг» в 2008 г. была рекомендована крупность питания флотома-



Рис.10. Доля класса крупностью ниже 150 мкм в пульпе питания

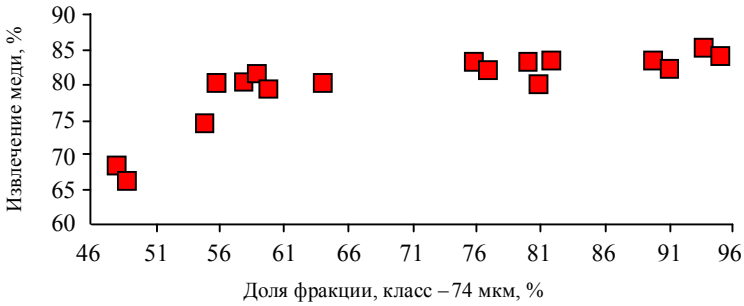


Рис.11. Доля класса крупностью ниже 74 мкм в пульпе питания

шин $P_{80} = 130$ мкм, что обеспечивало извлечение меди 79,9 % в медный или 80 % в коллективный медно-молибденовый концентрат. Для прогнозируемых более крепких руд этот показатель исследователями еще более ужесточался до $P_{80} = 106$ мкм.

При работе на существующем оборудовании на предприятии достигли проектного показателя извлечения меди за счет более глубокого измельчения руды, используя резервы технологической схемы. Такая ситуация сложилась в связи с чрезвычайно высокой крепостью руды и вмещающих пород Михеевского месторождения. Коэффициент крепости по шкале Протодьяконова составляет 19-20, что существенно выше, чем предполагалось при разработке технологического регламента на основании отобранных геологами технологических проб. Исследовательские работы, выполненные в условиях действующего производства, показали прямую зависимость извлечения меди от степени измельчения руды (рис.11).

По мнению авторов, прирост извлечения меди при увеличении степени измельчения для условий переработки руды Михеевского месторождения и на имеющемся парке флотационных машин и классифицирующего оборудования происходит за счет снижения в пульпе питания доли фракции 150 мкм с 15,3-18,6 до 0,6-2,9 %.

В рамках практической реализации второго этапа развития проекта на промплощадке Михеевского ГОКа заканчивается строительство дополнительных мощностей переработки руды объемом 9 млн т в год (рис.12).

После пуска в эксплуатацию и вывода на проектные показатели суммарная мощность первой, второй (рис.13) и третьей очередей ГОКа будет составлять 27 млн т. Для обеспечения рудой обогатительных фабрик проведена корректировка проекта вскрытия месторождения, выполнены организационные мероприятия по обеспечению горного производства дополнительной техникой, оборудованием, машинами и механизмами.

Для всего увеличенного горно-обогатительного комплекса расширена инфраструктура, включая энергетические объекты, газоснабжение, водоподведение и водоотведение, ремонтные и эксплуатационные службы.

По второму направлению принято решение и реализуется проект по строительству третей дополнительной стадии измельчения с использованием однотипного с имеющимся оборудованием как по измельчению, так и по классификации и насосному парку.

Продолжая развивать направление по вовлечению в эксплуатацию медно-порфировых месторождений, Русская медная компания после выполнения проекта и прохождения всех соответствующих экспертиз и общественный слушания с обсуждениями приступила в 2017 г. к строительству нового ГОКа на Томинском и Калиновском медно-порфировых месторождениях, суммарные запасы руды которых составляют 600 млн т при содержании 0,41 % меди и 0,08 г/т золота.

На основании полученного опыта при освоении Михеевского месторождения были уточнены следующие проектные решения:

- строительство ГОКа будет выполнено в несколько этапов;
- на первом этапе строятся две очереди по 14 млн т руды в год каждая;
- на третьем этапе после завершения геологоразведочных работ в этом районе и уточнения запасов возможно увеличение мощности рудника до 56 млн т;
- для размещения хвостов обогащения предусматривается использование их в качестве закладочных материалов для рекультивации Коркинского угольного разреза, находящегося в 18 км от строящегося рудника;

DOI: 10.25515/PMI.2017.6.641

• с целью сохранения окружающей среды для пополнения оборотной воды, теряемой с закладкой, предусмотрено использование условно чистых вод очистных сооружений городов Коркино, Копейска и Челябинска;

• учитывая высокую крепость вмещающих пород, большая часть вскрышных пород будет направлена на производство строительных материалов, в том числе щебня высших марок;

• опыт Михеевского ГОКа по измельчению руды позволил внести уточнения в проект в части использования более производительного дробильного и измельчительного оборудования, в частности мельницы ПСИ увеличены с 36 до 38 футов, предусмотрена дополнительная стадия измельчения и классификации;



Рис.12. Действующие первая и вторая очереди обогатительной фабрики на 18 млн т



Рис.13. Строительство третьей очереди обогатительной фабрики на 9 млн т

• на основании опыта совместной переработки окисленных, смешанных и первичных руд на Михеевском месторождении было принято решение отказаться от строительства гидрометаллургического завода по переработке окисленных руд кучным и чановым сернокислотным выщелачиванием. Соответствующее решение было внесено в проектную и разрешительную документацию.

Особо надо отметить совместную работу Русской медной компании с Санкт-Петербургским горным университетом. Сотрудничество по Михеевскому ГОКу распространялось на подготовку инвестиционной части проекта для включения его в перечень наиболее значимых объектов недропользования России. По Томинскому ГОКу ведется совместная реализация инновационных подходов в организации современного горного производства. С целью минимизации наносимого ущерба окружающей среде РМК при научном сопровождении Санкт-Петербургского горного университета разработали технологию укладки хвостов обогащения в выработанные пространства Коркинского угольного разреза. В Горном университете проведены исследовательские работы по возможности использования хвостов в качестве закладочной смеси. Попутная рекультивация самого крупного в Европе угольного карьера позволит существенно уменьшить негативное воздействие открытых горных выработок, заключающееся в оползнях, пожарах, сдвигах и обрушениях в черте г. Коркино. Сотрудники Горного университета ведут контроль и мониторинг выполнения проектной документации по рекультивации угольного разреза и осуществляют научное сопровождение всех горных и обогатительных работ в рамках освоения Томинского медно-порфирового месторождения.

Заключение. Русская медная компания впервые в России на Урале приступила к практическому освоению медно-порфировых месторождений.

В 2013 г. был введен в эксплуатацию Михеевский ГОК производительностью 18 млн т руды в год с привлечением инвестиций в объеме 28 млрд руб. В настоящее время заканчивается строительство третьей очереди с доведением суммарной мощности ГОКа до 27 млн т. Предприятие построено в степи «на голом месте» с одновременным строительством всех сопутствующих объектов инфраструктуры, включая водохранилище, автомобильную и железную дороги, газопроводы, две электростанции и жилой поселок.

Использование инновационных подходов в выборе технологии, высокопроизводительного оборудования и организации строительства позволили вывести предприятие на проектную мощность и достичь всех ожидаемых результатов за три года строительства. В настоящее время это предприятие является самым мощным в России по переработке медных руд и служит образцом для проектирования и строительства аналогичных мощностей. Практические результаты работы ГОКа подтвердили возможность высокоэффективного освоения уральских медно-порфировых месторождений.

На основании опыта, приобретенного при проектировании, строительстве и эксплуатации Михеевского ГОКа, в 2017 г. Русская медная компания приступила к строительству нового горно-обогатительного комбината на Томинском и Калиновском медно-порфировых месторождениях в Челябинской области. Мощность ГОКа на первом этапе предусматривается в объеме уже 28 млн т с возможным увеличением на втором этапе до 56 млн т. Для снижения воздействия на окружающую среду и уменьшения антропогенной нагрузки на природу при строительстве Томинского ГОКа предусмотрена закладка хвостов обогащения при рекультивации Коркинского угольного разреза и использование для пополнения водного баланса оборотных вод, стоков очистных сооружений городов Копейска, Коркино и Челябинска.

Освоение медно-порфировых месторождений на Урале позволит обеспечить сырьем региональную промышленность, тем самым расширит сырьевую базу меди, обеспечит заводы сырьем на ближайшие 80-100 лет. Устойчивая работа медной промышленности позволит сохранить стабильность и социальное спокойствие в моногородах медной отрасли Урала.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алтушкин И.А.* Экономическая оценка инновационных решений проекта освоения Михеевского месторождения медно-порфировых руд / И.А.Алтушкин, Ю.А.Король, А.Е.Череповицын // Горный журнал. 2012. №8. С.113-116.

2. *Грабежев А.И.* Рениеносные медно-порфировые системы Урала: геологическое положение, изотопно-петрогеохимическая и возрастная латеральная зональность // Литосфера. 2012. № 4. С. 190-207.

3. *Грабежев А.И.* U-Pb возраст цирконов из рудоносных гранитоидов медно-порфировых месторождений Южного Урала / А.И.Грабежев, Ю.Л.Ронкин // Литосфера. 2011. №3. С. 104-116.

4. *Грабежев А.И.* Артемовско-Алтынайский рудно-магматический ареал медно-порфирового типа (Средний Урал): U-Pb Shrimp-II возраст, петрогеохимия гранитоидов и генетическая специфика / А.И.Грабежев, В.Н.Смирнов // Литосфера. 2012. № 6. С. 78-89.

5.Инновационные подходы в развитии меднорудной базы на Урале / И.А.Алтушкин, М.Ю.Щибрик, Т.И.Малек, Ю.А.Король // Горный журнал. 2016. № 7. С. 77-82.

6. *Коробейников А.Ф.* Золото и платиновые металлы в медно-молибден-порфировых месторождениях / А.Ф.Коробейников, А.И.Грабежев // Известия Томского политехнического университета. 2003. Т. 306. № 5.

7. *Кривцов А.И.* Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. М.: Недра, 1983. С. 256.

8. *Мигачев И.Ф.* Перспективы территории Российской Федерации на медно-порфировые руды / И.Ф.Мигачев, О.В.Минина, В.С.Звездов // Руда и металлы. 2015. № 1. С. 74-92.

9. *Попов В.С.* Содержание Re в молибдените как критерий оценки молибденовых месторождений / В.С.Попов, Ю.К.Кудрявцев // Разведка и охрана недр. 1995. № 6. С. 17-20.

10. *Прокин В.А.* Геологические условия размещения и перспективы выявления крупных медноколчеданных месторождений на Урале / В.А.Прокин, И.Б.Серавкин, А.М.Виноградов // Литосфера. 2011. № 6. С. 123-133.

11. *Серавкин И.Б.* Эндогенная металлогения Южного Урала и общая оценка перспектив его Оренбургской части на колчеданное, медно-порфировое и золотое оруденение / И.Б.Серавкин, С.Е.Знаменский // Геологический сборник № 6 / ИГ УНЦ РАН. Уфа, 2007. С. 181-205.

12. *Серавкин И.Б.* Медно-порфировое оруденение Южного Урала (обзор) / И.Б.Серавкин, К.Р.Минибаева, З.И.Родичева // Геологический сборник № 9. Юбилейный выпуск / ИГ УНЦ РАН. Уфа, 2011. С. 186-200.

13. Distribution of rhenium in molybdenite from porfhyry Cu-Mo deposits of Russia (Siberia) and Mongolia / A.N.Berzina, V.I.Sotnikov, M.Ekonomou-Eliopoulos et al. // Ore Geology Reviews. 2005. Vol. 26. P. 91-113.

14. Gold and Base Metal Metallogeny of the Central Asian Orogenic Supercollage / A.S.Yakubchuk, V.V.Shatov, D.Kirwin et al. // Society of Economic Geology. Inc. Economic Geology. 2005. Vol. 100. P. 1035-1068.

15. Richard H. Sillitoe Porphyry Copper Systems // Society of Economic Geologists. Inc. Economic Geology. 2010. Vol. 105. P. 3-41.

16. Rhenium-rich molybdenite and rhenite in the Pagoni Rachi Mo-Cu-Te-Ag-Au prospect, Northern Greece: Implication for the Re geochemistry of porphyry-style Cu-Mo and Mo mineralization / P.C.Voudouris, V.Melfos, P.G.Spry et al. // Canad. Mineralogist. 2009. Vol. 47. P. 1013-1036.

***Авторы*: И.А.Алтушкин,** *председатель Совета директоров* (*АО «Русская медная компания»*, *Екатеринбург*, *Россия*), **В.В.Левин,** президент (*АО «Русская медная компания»*, *Екатеринбург*, *Россия*), **А.В.Сизиков,** *д-р техн. наук*, *генеральный директор* (*АО «Михеевский ГОК»*, *Челябинск*, *Россия*), **Ю.А.Король,** *вице-президент по контроллингу за производством и инвестициями*, *u.korol@mail.ru* (*АО «Русская медная компания»*, *Екатеринбург*, *Россия*).

Статья принята к публикации 16.10.2017.