

# ГЕОТЕХНОЛОГИЯ: ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ, СТРОИТЕЛЬНАЯ

---

УДК 553.435(470.13)

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-3-6-14

## Обоснование технологий освоения месторождений медноколчеданных руд в арктической зоне Урала

Кантемиров В. Д.<sup>1</sup>, Титов Р. С.<sup>1\*</sup>, Яковлев А. М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

\*e-mail: ukrigd15@mail.ru

### Реферат

**Введение.** В связи с истощением запасов обрабатываемых меднорудных месторождений цветная металлургия Уральского экономического региона испытывает ощутимый дефицит медесодержащего сырья. Одним из перспективных регионов для организации новой сырьевой базы цветной металлургии является Приполярный и Полярный Урал, где поисковыми геологоразведочными работами выявлено значительное количество перспективных для доразведки и промышленного освоения меднорудных и медно-цинковых рудопоявлений.

**Цель работы.** На основании анализа геологических данных и оценки возможного объема промышленных запасов медесодержащего сырья обосновать техническую возможность и экономическую целесообразность вовлечения в переработку богатейших ресурсов арктической зоны, в первую очередь – Приполярного Урала.

**Методология.** Разработка колчеданных месторождений, особенно с использованием флотационных методов, сопровождается формированием особой техногенной среды и резким нарушением природного равновесия. Для минимизации экологического воздействия на окружающую среду при переработке медноколчеданных руд рассматриваются современные методы рентгенорадиометрической и электростатической сепарации.

**Результаты.** Анализом и оценкой геологических данных выявлены районы первоочередного освоения меднорудных месторождений, обоснованы объемы первоочередной добычи руды, определены основные подходы к разработке месторождений и состав основного технологического и обогащительного оборудования. Разработаны подходы и принципиальная качественно-количественная схема предварительной концентрации рудного сырья с использованием сухих методов предварительного обогащения, реализация которых позволит сократить до минимума вредное воздействие на экологию арктических регионов.

**Выводы.** Регионы Приполярного Урала располагают значительными оцененными прогнозными ресурсами рудных полезных ископаемых, перспективное освоение которых для отечественной металлургии способствует интенсификации импортозамещения и диверсификации поставок меднорудного сырья.

**Ключевые слова:** медноколчеданные руды; объем запасов; объемы добычи; карьер; технология обогащения; концентрат; эффективность инвестиций.

**Введение.** Цветная металлургия Уральского экономического региона в последнее время испытывает определенный дефицит медесодержащего сырья, что обусловлено истощением собственной минерально-сырьевой базы. Отчасти сглаживание проблемы замещения выбывающих горнодобывающих мощностей обеспечивается планируемым освоением запасов медно-порфириновых руд Южного Урала Михеевским и Томинским ГОКами в составе АО «Русская медная компания», однако при этом не снимается потребность в пополнении ресурсов традиционных для цветной металлургии Урала медноколчеданных руд.

**Методология.** Далее анализируется возможность вовлечения в переработку медноколчеданных руд Приполярного Урала с осуществлением предварительной концентрации современными сухими методами обогащения, позволяющей минимизировать негативное экологическое воздействие технологии разработки месторождений и первичной переработки руд на окружающую среду.

**Анализ и обсуждение.** Минерально-сырьевые ресурсы для производства меди на Урале развивались в основном на базе медноколчеданных месторождений, связанных с главной рудовмещающей структурой Урала – Магнитогорско-Тагильским прогибом, к которому приурочена рудная зона Северного Урала Свердловской области с разрабатываемыми Валенторским, Шемурским, Ново-Шемурским и Тарньерским месторождениями. Потенциальные месторождения Приполярного Урала принадлежат к этой же рудовмещающей структуре. Геологосъемочными, поисковыми и тематическими работами на территории Северного и Приполярного Урала (ХМАО) выявлено три потенциальных колчеданоносных рудных района: Северо-Сосьвинский, Вольинский и Грубеинско-Тыкотловский – с приуроченными к ним соответствующими колчеданными месторождениями (Шадрин А. Н. *Количественная оценка прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых зоны транспортного коридора «Урал Промышленный – Урал Полярный»: отчет. Ч. V. Медь, цинк, свинец. Тюмень: Сибирский науч.-аналит. центр. 2006. 27 с.; Золоев К. К., Федоров О. П. Концепция комплексного промышленного освоения Приполярного Урала на основе опережающего развития транспортной и энергетической инфраструктуры: отчет; раздел «Недропользование» / Департамент по нефти, газу и минеральным ресурсам Ханты-Мансийского автономного округа–Югры. Екатеринбург–Ханты-Мансийск: НПЦ Мониторинг, 2005. 205 с.*)

Северо-Сосьвинский район включает три крупных и два мелких разведанных колчеданных месторождения и четыре перспективных участка. Суммарные утвержденные запасы по крупным месторождениям категорий  $C_1 + C_2$  составляют: руды – 48,6 млн т; меди – 602,0 тыс. т; цинка – 975,3 тыс. т. Утвержденные прогнозные ресурсы (на 01.01.2003 г.) по категории  $P_2$  оценены в 33,1 млн т руды (400 тыс. т меди и 640 тыс. т цинка). Суммарные запасы по категории  $C_2$  мелких месторождений, оцененные как авторские и квалифицированные как прогнозные ресурсы, по состоянию на 01.01.2003 г. составляли по категории  $P_1$ : руда – 8,6 млн т, медь – 25,6 тыс. т, цинк – 24,6 тыс. т; по категории  $P_3$ : руда – 16,0 млн т, медь – 210 тыс. т, цинк – 130 тыс. т; по категории  $P_2$ : руда – 12,8 млн т, медь – 170 тыс. т, цинк – 100 тыс. т. Эти оценки утверждены Министерством природных ресурсов РФ (МПР).

Как наиболее перспективные для потенциального промышленного освоения указанного района можно выделить Маньялбынтурский и Большесосьвинский участки. Рудопроявление Маньялбынтурского участка представлено двумя рудными телами № 1 и № 2 со средним содержанием соответственно меди ( $\beta^{Cu}$ ) 0,48 % и 1,73 %; цинка ( $\beta^{Zn}$ ) 1,34 % и 1,01 %. Среднее содержание по двум рудным телам: меди 1,01 %; цинка 1,17 %. Подсчитанные по рудным телам запасы категории  $C_2$  оцениваются как авторские и равны соответственно: меди – 9 тыс. т и 21 тыс. т, цинка – 19 тыс. т и 12 тыс. т. Рудопроявление Большесосьвинского участка представлено одноименным рудным телом с содержанием меди 0,42–2,05 %.

Утвержденные МПР РФ по Северо-Сосьвинскому району прогнозные ресурсы по категории  $P_3$  (на 01.01.2003 г.) составляют: медь – 1000 тыс. т ( $\beta^{Cu}$  1,5 %); цинк – 1500 тыс. т ( $\beta^{Zn}$  2,2 %).

Вольинский район представлен рядом рудопроявлений, наиболее крупными являются рудопроявления Яныманьинского и Тольинского участков. Минерализация участков представлена вкрапленностью пирита, халькопирита, сфалерита

и гематита, в которых  $\beta^{\text{Cu}}$  1,4 %;  $\beta^{\text{Zn}}$  0,8 % и  $\beta^{\text{Au}}$  1,5 г/т. Авторские (В. Е. Козырев, К. К. Золоев, А. В. Сурганов) прогнозные ресурсы участков оценены на 01.01.1998 г. по категории  $P_3$  до глубины 500 м и составляют: медь 1500–1880 тыс. т; цинк 1000–1130 тыс. т. Прогнозные ресурсы по Вольинскому району, принятые МПР РФ, составляют: по меди – 1500 тыс. т; по цинку – 1000 тыс. т со средним содержанием меди ~ 2 %; цинка ~ 1,2 %.

Грубейинско-Тыкотловский район характеризуется колчеданно-полиметаллическим оруденением. Рудопоявление представлено тремя участками: Тыкотловским, Амбровожским и Парусшорским. Наиболее богатая минерализация района приурочена к западной зоне с содержанием 7,8 % меди, 11,4 % свинца и 0,3 % цинка. Прогнозные ресурсы по району квалифицированы по категории  $P_3$  и оценены (В. Е. Козыревым) до глубины 500 м в следующих количествах: медь – 2400 тыс. т (содержание 2 %); цинк – 1800 тыс. т (содержание 1,5 %); свинец – 1440 тыс. т (содержание 1,2 %). Прогнозные ресурсы категории  $P_3$ , принятые МПР РФ по этому району, составляют: по меди – 1000 тыс. т; по цинку – 1000 тыс. т. Прогнозные ресурсы свинца не приняты.

В табл. 1 приведены расчетные прогнозные запасы руд по категории  $P_3$  в рудных районах на территории ХМАО–Югра. Расчеты проведены на основе использования массовой доли меди в рудах по районам сосредоточения ее запасов, принятых МПР РФ.

**Таблица 1. Расчетные запасы медной руды на территории ХМАО–Югра**  
**Table 1. Estimated reserves of copper ore at the territory of KhMAO-Yugra**

Рудный район	Расчитанные запасы руды категории $P_3$ , млн т	
	по В. Е. Козыреву	принятые МПР РФ
Северо-Сосьвинский	67	44
Вольинский	94	61
Грубейинско-Тыкотловский	120	79
<i>Итого по ХМАО</i>	281	184

При оценке меднорудного потенциала на основе анализа имеющейся геологической информации принято, что для первоочередной разработки наиболее подходит группа месторождений медно-цинковых руд Вольинского и Северо-Сосьвинского районов. В табл. 2 представлено состояние прогнозных ресурсов месторождений указанной группы.

Оценку возможного объема промышленных запасов предлагается производить по формуле приведения с учетом различных категорий запасов ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ) [3]:

$$Z_{\text{пр}} = (C_1 + C_2) + \frac{P_1}{2} + \left( \frac{P_2 + P_3}{5} \right). \quad (1)$$

Объем приведенных промышленных запасов в пределах указанных районов может составить более 20 млн т. С учетом глубины оценки прогнозных ресурсов (200–500 м по отдельным рудопоявлениям) и опыта отработки сходных месторождений севера Свердловской области разработку месторождений предполагается производить открытым способом в два этапа: на первом этапе – Вольинского района, на втором – Северо-Сосьвинского района. Для освоения месторождения Вольинского района горно-обогатительный комбинат (ГОК) производственной мощностью до 1 млн т руды в год целесообразно разместить рядом с пос. Приполярный, в зоне доступности к планируемым автомобильным и железным

дорогам [3, 4]. Параметры карьеров по отработке медно-цинковых руд приняты с учетом опыта освоения [5] схожих по геологическому типу месторождений севера Свердловской области (табл. 3).

Месторождения Северо-Сосьвинского района предполагается осваивать во вторую очередь, с частичным использованием оборудования, высвобождаемого после завершения работ в Вольинском районе.

Особое значение приобретает выбор технологий обогащения медноколчеданных руд в районах разработки месторождений [6–9]. Это связано с особой чувствительностью природы Приполярного Урала, являющейся средой обитания ценных рыб и редких эндемиков [10].

**Таблица 2. Состояние прогнозных ресурсов категории P<sub>3</sub> медно-цинковых месторождений для первоочередного освоения**

**Table 2. The status of P<sub>3</sub> perspective resources of copper-zinc deposits for top-priority exploitation**

Рудный район	Площадь, км <sup>2</sup>	Геолого-промышленный тип	Тип руды	Глубина прогноза, м	Среднее содержание компонентов, %	Ресурсы металла, тыс. т
Вольинский	540	Медно-цинково-колчеданный	Прожилковая, вкрапленная	500		
Cu					2,0	1880
					1,2	1130
Северо-Сосьвинский	220	Медно-цинково-колчеданный	Прожилковая, вкрапленная	500		
Cu					1,5	1000
					2,2	1500

Разработка колчеданных месторождений сопровождается формированием особой техногенной среды, резким нарушением природного равновесия, что обусловлено доступом кислорода воздуха, углекислого газа и поверхностных вод, обогащенных кислородом, к сульфидным рудам при их добыче. В кислородной среде у сульфидов, в состав которых входят неметаллы с полным заполнением электронных оболочек электронами (S<sup>2-</sup>, As<sup>3-</sup> и т. п.) и металлы (Fe<sup>2+</sup>, Cu<sup>+</sup> и т. д.) с низкой степенью окисления, резко проявляется химический потенциал (способность веществ к химическим изменениям). При окислении сульфидов выделяется тепло  $Q$  с образованием Fe<sup>3+</sup>, S<sup>6+</sup>, As<sup>5+</sup> и образуются растворы кислот, как, например, при окислении пирита (FeS<sub>2</sub>):  $2\text{FeS}_2 + 7\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Аналогичные процессы окисления сульфидов и преобразования продуктов реакций могут развиваться и при разработке колчеданных месторождений ХМАО, особенно с использованием флотационных методов, основанных на применении токсичных реагентов и размещении на поверхности земли тонкодисперсных сульфидсодержащих хвостов обогащения – источников серной кислоты и сульфатов тяжелых цветных металлов. Полный цикл получения сульфидных концентратов флотацией на территории ХМАО, предлагаемый рядом исследователей, является экологически опасным направлением для Приполярного Урала.

**Результаты.** Технико-экономические расчеты выполнены для карьера № 3 (табл. 3). Приняты следующие условия: средняя плотность руды – 4,3 т/м<sup>3</sup>, вскрышных пород – 2,8 т/м<sup>3</sup>; коэффициент вскрыши по группе карьеров – 3,8 м<sup>3</sup>/т; потери – 3,5 %; разубоживание – 7,7 %. Установлено, что карьерами первой очереди всего может быть добыто ~ 12 млн т руды и отработано ~ 46 млн м<sup>3</sup> вскрышных пород. При среднем содержании меди 1,95 % и цинка 1,65 % соответственно может быть добыто ~ 220 тыс. т меди и ~ 190 тыс. т цинка, кроме того, около 9 т золота (при содержании 0,9–1,0 г/т). Расчет производительности и необходимого количества технологического оборудования карьера выполнен для годового объ-

ема добычи горной массы, что соответствует максимальной производительности карьера № 3 (табл. 3): по руде – 1000,0 тыс. т (250,0 тыс. м<sup>3</sup>); по скальной вскрыше – 10 640,0 тыс. т (3800,0 тыс. м<sup>3</sup>); всего – 11 640,0 тыс. т (4050,0 тыс. м<sup>3</sup>). Общий срок существования предприятия (с момента получения лицензии на пользование недрами) может составить 17–20 лет. Начало ведения горных работ планируется через 5 лет с момента получения лицензии на пользование недрами.

**Таблица 3. Параметры карьеров на конец отработки и объемы добычи**  
**Table 3. The parameters of open pits at the end of mining and production**

Параметр карьера	Карьер № 1* Гарньер	Карьер № 2** Ново-Шемур	Карьер № 3 Расчетный
Глубина, м	190	120	165
Длина по дну, м	100	510	400
Ширина по дну, м	45	100	200
Площадь по дну, тыс. м <sup>2</sup>	4	40	63
Длина по поверхности, м	630	750	730
Ширина по поверхности, м	440	340	530
Площадь по поверхности, тыс. м <sup>2</sup>	220	200	304
Объем горной массы в контурах карьера, тыс. м <sup>3</sup>	16 150	9628	20 192
В том числе руды, тыс. м <sup>3</sup>	1226	459	1164
тыс. т	4622	1970	5007
вмещающих пород, тыс. м <sup>3</sup>	14 924	9169	19 027
тыс. т	41 784	25 670	53 276
Коэффициент вскрыши, м <sup>3</sup> /т	3,23	4,65	3,8

\* Параметры действующего карьера; \*\* проектные параметры карьера.

Для минимизации экологического воздействия на окружающую среду при переработке медноколчеданных руд месторождений Приполярного Урала предлагаются сухие методы концентрирования ценных компонентов в промпродукт на основе использования современных рентгенорадиометрических (РРС) и барабанных коронных электростатических (ЭС) сепараторов [11]. С учетом специфики минерального состава сырья и принятого оборудования разработана принципиальная технологическая схема предварительного обогащения медно-цинковых руд ХМАО–Югра.

Расчеты показывают, что в результате сухого способа обогащения после переработки 1 млн т руды с содержанием меди 1,9 % и цинка 1,65 % может быть получено примерно 240 тыс. т медно-цинкового концентрата с содержанием 7,77 % меди и 6,63 % цинка соответственно, а также хвостов обогащения в объемах ~ 560 тыс. т. Хвосты складированы в специальный отвал с гидроизоляцией основания. Таким образом, предлагаемая технология обогащения позволяет извлечь из руды в концентрат 82–98 % ценных металлов.

Полученный медно-цинковый концентрат отгружается железнодорожным транспортом на медеплавильные заводы Уральского региона для последующей глубокой переработки.

Опыт переработки колчеданных руд свидетельствует о наличии в них золота со средним содержанием 0,9–1,5 г/т. На медеплавильных заводах отработана технология выделения золота из черновой меди, что позволяет получать предприятиям существенный дополнительный доход.

С учетом указанного опыта переработки руд выполнен расчет по прогнозируемому содержанию золота в концентрате. При прогнозируемой средней массовой доле золота в руде 1 г/т в 1 млн т руды содержится ~ 0,9–1,0 т золота. Парагенетически золото на 90 % связано с сульфидной минерализацией, т. е. 900 кг золота содержится в сульфидах, при этом в хвостах обогащения будет потеряно ~76 кг драгоценного металла.

Оценка эффективности проекта освоения медно-колчеданных руд Приполярного Урала показала, что объем первоначальных инвестиций может составить 4–5 млрд р. при среднегодовых эксплуатационных затратах более 1,5 млрд р. Выручка от реализации товарной продукции определена из расчета рыночной стоимости ценных компонентов в концентрате (меди, цинка, золота) и зависит от многих факторов, связанных с уровнем цен на металлы на мировых рынках, валютных курсов и др.

Расчетные показатели свидетельствуют об эффективности данного проекта – сравнительно высокий индекс доходности ( $PI = 4,3$ ), ЧДД свыше 5 млрд р. и приемлемый срок окупаемости ~ 6 лет. Анализ рисков инвестиций свидетельствует о достаточно высокой чувствительности инвестиционного проекта к рыночной конъюнктуре (рис. 1). Несмотря на стохастичность в поведении колебаний цены на металл во времени, полученная регрессионная зависимость будет сохранять свою тенденцию и для более поздних периодов оценки.

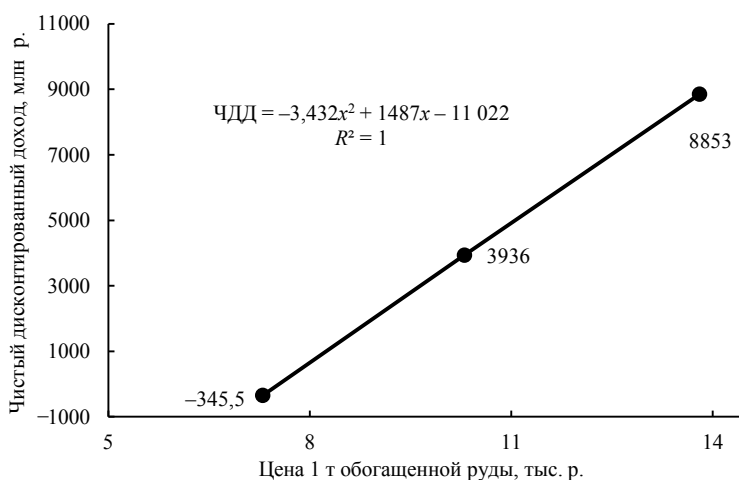


Рис. 1. Зависимость эффективности (ЧДД) проекта от цен на металлы  
Fig. 1. Dependence between the project effectiveness (NPV) and the prices for metals

**Выводы.** Актуальность исследований, связанных с оценкой перспектив освоения новых сырьевых баз для отечественной металлургии во многом обусловлена острым дефицитом руд цветных и легирующих металлов (медь, хром, марганец и др.), который покрывается поставками из-за рубежа. Одним из направлений импортозамещения и диверсификации поставок меднорудного сырья в регионе может стать освоение сырьевых ресурсов Приполярного Урала в пределах горной части территории Ханты-Мансийского автономного округа–Югры.

Для минимизации вредного экологического воздействия на окружающую среду предпочтительными технологиями обогащения медноколчеданных руд и другого минерального сырья месторождений Приполярного Урала являются сухие методы предварительного обогащения, без применения глубоких стадий обогащения и химических реагентов. При этом предварительное обогащение на про-

мышленной площадке предприятий рекомендуется производить стадийным дроблением, грохочением и сепарацией сырья с отсечением некондиционных руд и сопутствующих пород, при этом полученный промежуточный продукт (концентрат) вывозится в освоённые индустриальные регионы Урала для последующей переработки.

Повышение эффективности инвестиционных проектов по отработке медно-цинковых руд, чувствительных к изменению цены на товарную продукцию, можно обеспечить за счет этапности разведки и отработки месторождений введением в эксплуатацию на первом этапе наиболее ценных участков. Создать условия для снижения затрат на вскрышные работы можно путем сокращения коэффициентов вскрыши в границах отработки передовых карьеров первой очереди и использования техники и технологии, в наибольшей степени соответствующих сложившимся горнотехническим условиям разработки.

Комплексное освоение ресурсов арктических регионов Урала при условии создания необходимой транспортной, энергетической и социальной инфраструктуры может быть достаточно эффективным, как показывает успешный опыт разработки углеводородов и предварительная оценка перспектив освоения медно-рудного потенциала [12–15].

***Исследования выполнены в рамках Государственного задания 007-00293-18-00. Тема № 0405-2018-0001. Проект № 18-5-5-10. Обоснование методов и этапов адаптации горнотехнологических систем к изменяющимся условиям разработки сложноструктурных глубокозалегающих месторождений.***

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виноградов А. М., Малышев А. И. Факторы и критерии прогноза, направление и методика поисков крупных колчеданных месторождений на Урале // Литосфера. 2014. № 5. С. 90–109.
2. Алтушкин И. А., Щибрик М. Ю., Малек Т. И., Король Ю. А. Инновационные подходы в разведке меднорудной базы на Урале // Горный журнал. 2016. № 7. С. 77–82.
3. Корнилов С. В., Лаптев Ю. В., Кантемиров В. Д. Стратегия освоения месторождений твердых полезных ископаемых Приполярного Урала // Известия вузов. Горный журнал. 2013. № 6. С. 11–17.
4. Машковцев Г. А., Быховский Л. З., Коротков В. В., Орлова Н. И. Рудный потенциал твердых полезных ископаемых арктической зоны России // Разведка и охрана недр. 2016. № 3. С. 3–12.
5. Кантемиров В. Д. Технологические особенности освоения новых сырьевых баз // ГИАБ. 2014. № 6. С. 369–373.
6. Мацко Н. А., Харитонова М. Ю. Экспресс-оценка вероятных темпов роста железорудной и медной отраслей минерально-сырьевого комплекса России // ГИАБ. 2014. № 7. С. 294–299.
7. Евдокимов А. Н., Смирнов А. Н., Фокин В. И. Полезные ископаемые арктических островов России // Записки Горного института. 2015. Т. 216. С. 5–12.
8. Рыльникова М. В., Емельяненко Е. А., Горбатова Е. А., Ягудина Ю. П. Совершенствование технологии переработки руд медноколчеданных месторождений Урала // Горный журнал. 2016. № 12. С. 65–72.
9. Бодуэн А. Я., Петров Г. В., Спыну А. Ю., Мардарь И. И. Попутное извлечение редких микроэлементов при комплексной переработке сульфидных медных руд // Металлург. 2014. № 1. С. 83–85.
10. Борисков Ф. Ф., Кантемиров В. Д. Минимизация экологического ущерба в районах с повышенной экологической чувствительностью к переработке колчеданных руд // Фундаментальные основы технологий переработки и утилизации техногенных отходов: матер. междунар. конгресса «ТЕХНОГЕН – 2012». Екатеринбург: УИПЦ, 2012. С. 369–371.
11. Шемякин В. С., Скопов С. В., Федоров Ю. О. Радиометрическое обогащение минерального сырья и техногенных отходов // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: матер. междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2009. С. 38–41.
12. Pinova A. A., Dmitrieva D. M. Sustainable development of the Arctic zone of the Russian Federation: ecological aspect // Biosciences Biotechnology Research Asia. 2016. Iss. 13(4). P. 2101–2106. DOI: 10.13005/bbra/2370
13. Johnson E. Trends 2015. The national economy is taking off will our industry do the same? // North. Logger and Timber Process. 2015. Vol. 63. No. 7. P. 18–20, 21–23.
14. Sakhuja V., Narula K. Asia in the Arctic. Narratives, Perspectives and Policies. Singapore: Springer, 2016. 143 p.
15. Conley H. A., Pumphrey D. L., Toland T. M., David M. Arctic economics in the 21st century. The benefits and costs of cold. Washington: CSIS, 2013. 67 p.

**Сведения об авторах:**

**Кантемиров Валерий Данилович** – кандидат технических наук, заведующий сектором управления качеством минерального сырья Института горного дела УрО РАН. E-mail: ukrkant@mail.ru

**Титов Роман Сергеевич** – научный сотрудник сектора управления качеством минерального сырья Института горного дела УрО РАН. E-mail: ukrigd15@mail.ru

**Яковлев Андрей Михайлович** – научный сотрудник сектора управления качеством минерального сырья Института горного дела УрО РАН. E-mail: ukrigd15@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-3-6-14

## Substantiating the technologies of copper sulphide ore deposits exploitation in the Arctic zone of the Urals

Valerii D. Kantemirov<sup>1</sup>, Roman S. Titov<sup>1</sup>, Andrei M. Iakovlev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

### Abstract

**Introduction.** Owing to the depletion of reserves in mineable copper deposits, the non-ferrous metallurgy of the Ural Economic Region runs a significant deficit of copper-containing raw material. One promising region for the organization of a new non-ferrous metallurgy mineral base is the Nether-Polar and Polar Urals. Geological exploration discovered a significant number of promising copper and copper-zinc ore occurrences for supplementary exploration and industrial exploitation.

**Research aim.** Based on geological data analysis and the estimation of copper-containing raw material potential industrial reserves, the research aims to substantiate technical capability and economic advisability of including, first of all, the Nether-Polar Urals into Arctic zone reach resources processing.

**Methodology.** Pyrite deposits exploitation, particularly with the use of flotation methods, is accompanied with special technogenic environment development as well as drastic environmental disturbance. In order to minimize environmental impact caused by copper sulphide ore processing, modern methods of X-ray radiometric and electrostatic separation are considered.

**Results.** Geological data analysis and estimation revealed the regions of top-priority exploitation of copper deposits; main approaches to deposits exploitation and the set of main technological and mineral processing equipment have been determined. Approaches and principal quantitative-qualitative scheme of ore raw material preliminary concentration have been developed with the use of dry methods of preconcentration, the realization of which will make it possible to minimize the negative environmental impact on the ecology of Arctic regions.

**Conclusions.** The regions of the Nether-Polar Urals have considerable evaluated perspective resources of ore minerals, further exploitation of which contributes to the intensification of import substitution industrialization and copper raw material supply diversification in native metallurgy.

**Key words:** copper sulphide ore; reserves; production; open pit; dressing technology; concentrate; the effectiveness of investment.

**Acknowledgements:** research has been carried out under the government contract no. 007-00293-18-00, theme no. 0405-2018-0001, project no. 18-5-5-10. Substantiating the methods and the stages of mining-technological systems adaptation to the changing conditions of deep complex-structured deposits exploitation.

### REFERENCES

1. Vinogradov A. M., Malyshev A. I. Forecast factors and criteria, direction and technique of large pyrite deposits prospecting in the Urals. *Litosfera = Lithosphere*. 2014; 5: 90–109. (In Russ.)
2. Altushkin I. A., Shchibrik M. Iu., Malek T. I., Korol Iu. A. Innovative approaches to the development of copper mineral base in the Urals. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2016; 7: 77–82. (In Russ.)
3. Kornilkov S. V., Laptev Iu. V., Kantemirov V. D. Development strategy of the fields of solid minerals of the Pre-polar Urals. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2013; 6: 11–17. (In Russ.)
4. Mashkovtsev G. A., Bykhovskii L. Z., Korotkov V. V., Orlova N. I. Solid minerals mining potential of Arctic region of Russia. *Razvedka i okhrana nedr = Prospect and Protection of Mineral Resources*. 2016; 3: 3–12. (In Russ.)
5. Kantemirov V. D. Technological features of development of new raw-material bases. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2014; 6: 369–373. (In Russ.)
6. Matsko N. A., Kharitonova M. Iu. The express-estimation of probable growth rates for iron and copper branches of Russian mineral sector. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2014; 7: 294–299. (In Russ.)
7. Evdokimov A. N., Smirnov A. N., Fokin V. I. Minerals of Russian Arctic islands. *Zapiski Gornogo Instituta = Journal of Mining Institute*. 2015; 216: 5–12. (In Russ.)



8. Rynnikova M. V., Emelianenko E. A., Gorbatova E. A., Iagudina Iu. R. Improving the technology of processing ore in copper sulphide ore deposits in the Urals. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2016; 12: 65–72. (In Russ.)
9. Boduen A. Ia., Petrov G. V., Spynu A. Iu., Mardar I. I. Incidental extraction of rare microelements at complex processing of sulfide copper ores. *Metallurg = Metallurgist*. 2014; 1: 83–85. (In Russ.)
10. Boriskov F. F., Kantemirov V. D. Ecological damage minimization in the regions with increased environmental sensitivity to pyrite ore processing. In: *The fundamentals of the technologies of technogenic wastes processing and utilization: Proceedings of International Congress TECHNOGEN – 2012*. Ekaterinburg: UIPTs Publishing; 2012: 369–371. (In Russ.)
11. Shemiakin V. S., Skopov S. V., Fedorov Iu. O. Radiometric dressing of mineral raw material and technogenic wastes. In: *Scientific fundamentals and practice of ore and technogenic raw material processing: Proceedings of International Scientific-to-Practice Conference*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publishing; 2009: 38–41. (In Russ.)
12. Ilinova A. A., Dmitrieva D. M. Sustainable development of the Arctic zone of the Russian Federation: ecological aspect. *Biosciences Biotechnology Research Asia*. 2016; 13(4): 2101–2106. DOI: 10.13005/bbra/2370
13. Johnson E. Trends 2015. The national economy is taking off will our industry do the same? *North. Logger and Timber Process*. 2015; 63 (7): 18–20, 21–23.
14. Sakhuja V., Narula K. *Asia in the Arctic. Narratives, Perspectives and Policies*. Singapore: Springer; 2016. 143 p.
15. Conley H. A., Pumphrey D. L., Toland T. M., David M. *Arctic economics in the 21st century. The benefits and costs of cold*. Washington: CSIS, 2013. 67 p.

Received 12 November, 2018

#### Information about authors:

**Valerii D. Kantemirov** – PhD (Engineering), Head of the Sector of Mineral Resources Quality Management, Institute of Mining UB RAS. E-mail: ukrkant@mail.ru  
**Roman S. Titov** – scientific researcher, Sector of Mineral Resources Quality Management, Institute of Mining UB RAS. E-mail: ukrigd15@mail.ru  
**Andrei M. Iakovlev** – scientific researcher, Sector of Mineral Resources Quality Management, Institute of Mining UB RAS. E-mail: ukrigd15@mail.ru

**Для цитирования:** Кантемиров В. Д., Титов Р. С., Яковлев А. М. Обоснование технологий освоения месторождений медноколчеданных руд в арктической зоне Урала // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 3. С. 6–14. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-3-6-14

**For citation:** Kantemirov V. D., Titov R. S., Iakovlev A. M. Substantiating the technologies of copper sulphide ore deposits exploitation in the Arctic zone of the Urals. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 3: 6–14 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-3-6-14