

РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И ПРОБЛЕМА ПОПУТНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ КОСТОМУКШСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ (КАРЕЛИЯ)

С.В. Петров, Т.А. Головина

Санкт-Петербургский государственный университет

В статье систематизированы данные о благороднометалльной минерализации в пределах Костомукшского месторождения железистых кварцитов. На основе статистической обработки результатов химического анализа вычислены средние содержания золота для различных пород и руд месторождения, что предоставило возможность подсчитать ресурсный потенциал благородных металлов (383 т, категория Р3). В пределах Южного участка месторождения выделены минерализованные зоны с благороднометалльной минерализацией, ресурсы которых оценены по более высокой категории Р2 в количестве 12 т. Предпринята попытка оценить промышленную значимость этой минерализации как попутного сырья. В результате исследований определены места в технологической схеме обогащения железистых кварцитов, в которых может быть организовано извлечение золота гравитационными методами. Приведен укрупненный расчет эффективности гравитационного извлечения золота из песков гидроциклонов второй стадии измельчения руды на обогатительной фабрике.

1. ВВЕДЕНИЕ

В конце XX и начале XXI столетия потребность в благородных металлах (прежде всего в золоте) резко возросла (одна из причин — истощение запасов богатых руд), в связи с этим, мировой тенденцией становится использование новых нетрадиционных их источников и объектами золотодобычи становятся месторождения с низкими содержаниями металла в руде. В 2004–2007 гг. по всему миру велись разведочные и оценочные работы на двух десятках объектах, находящихся в пределах древнейших зеленокаменных поясов планеты. Суммарные запасы месторождений Мупане (Ботсвана), Вестония (Австралия), Лас Кристинес (Венесуэла), Бусолва и Бакриф (Танзания), Донлин Крик (США), локализованных в регионально-метаморфизованных терригенно-вулканогенных толщах архейских зеленокаменных поясов (в т.ч. железистых кварцитах, сланцах различного состава, базальтоидах, коматиитах), составляют более 1500 тонн при средних содержаниях золота 0,7–3 г/т. В архейских зеленокаменных структурах установлены крупные штокверковые и стратифицированные месторождения низкокачественных руд в слабопроявленных метасоматитах с запасами 400–1100 т металла.

В процессе исследования благороднометалльной минерализации в железистых кварцитах Костомукшского месторождения была сделана попыт-

ка ответить на ряд вопросов, имеющих прикладное значение:

1. Определение общего совокупного благороднометалльного потенциала заключенного в горной массе месторождения железистых кварцитов.
2. Определение ресурсов золота в пределах участков с повышенными концентрациями благородных металлов (минерализованных зонах).
3. Характер распределения золота в продуктах основных этапов технологического процесса.

2. РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ КОСТОМУКШСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

На разных стадиях разведки Костомукшского месторождения было выполнено более 1840 анализов штучных, бороздовых, групповых и объединенных проб горных пород и руд на содержание золота. К сожалению, привязки этих проб в пространстве объекта в большинстве случаев не сохранились. Однако репрезентативность и представительность выборки позволяет определить средние величины и провести исследование распределения металла в различных типах горных пород и руд месторождения. Результаты прошлых исследований дополнены оригинальными аналитическими данными [1].

Расчеты показали, что практически в половине проб содержание золота около или выше кларкового, а количество проб, в которых concentra-

ции приближаются к коммерческим (более 0,1 г/т), составляют 4,6% выборки (табл. 1). Используя эти данные, определены концентрации золота в каждом типе горных пород и руд. Наибольшие содержания золота установлены в метасоматических породах (0,28 г/т — в основном пропилитах разного состава), сплошных и густовкрапленных колчеданах (0,13 г/т), а наименьшее — в лампроитах (0,002 г/т). Среднее содержание в пробах обогащенных золотом пород (с содержаниями выше кларкового) увеличивается в 2-3 раза, например, среднее по всей выборке возрастает с 0,036 до 0,078 г/т. Следует отметить, что наиболее сильно вырастает среднее содержание для кислых пород (геллефлинты и пр.), что говорит о большей контрастности распределения золота в них, где наряду с большим количеством безрудных проб

присутствуют интервалы с аномальными высокими концентрациями металла (табл.1). Характер распределения содержаний золота по классам близок к логнормальному с резкой правой асимметрией и тождественен для большинства пород месторождения. Подавляющее число проб содержит золото в концентрациях ниже 0,01 г/т, а большинство повышенных содержаний приходится на классы 0,01-0,03 и 0,1-0,3 г/т. Несколько иной характер распределения золота имеют апогипербазитовые сланцы, где более часто встречаются пробы с повышенными содержаниями (0,01-0,3 г/т). Распределение золота в метасоматически измененных породах отличается от остальных, здесь существенная часть проб приходится на высокие концентрации золота. Характер распределения содержаний приближается к нормальному.

Таблица 1

Распределение золота по классам содержаний в породах Костомукшского месторождения

Горные породы и руды	Классы содержаний золота, г/т								Всего проб	Кол-во проб с Au	Встречаемость проб с Au, %	Среднее содержание Au, г/т	Среднее содержание Au, г/т
	менее 0.001	0.001-0.003	0.003-0.01	0.01-0.03	0.03-0.1	0.1-0.3	0.3-1	более 1					
Магнетитовые кварциты (руды)	148	58	13	23	4	4	1	1	252	104	5,6	0,022	0,052
Кварциты и сланцы магнетитсо-держачие (забалансовые руды)	116	85	14	18	7	8	6	1	255	139	7,5	0,038	0,069
Сланцы кварц-биотит± полевои шпат± амфиболовые	221	137	18	50	9	15	5	3	458	237	12,9	0,038	0,073
Сланцы филлитовидные	161	111	15	23	2	2	1	1	316	155	8,4	0,016	0,032
Сланцы апогипербазитовые	96	68	9	38	19	18	2	2	252	156	8,5	0,052	0,084
Пикриты, лампроиты	24	4	2	2					32	8	0,4	0,002	0,008
Плагипорфиры, геллефлинты	170	40	6	10	2	2		2	232	62	3,4	0,03	0,110
Сульфидные (колчеданные) руды	1	6		1	1			1	10	9	0,5	0,13	0,344
Метасоматиты	6		12	3	3	5	4	2	35	29	1,6	0,284	0,342
Всего проб	943	509	89	168	47	54	19	13	1842	899	48,8	0,036	0,078
Встречаемость, %	51,2	27,6	4,8	9,1	2,6	2,9	1,0	0,7					

Запасы железных руд промышленных категорий в пределах контура Костомукшского карьера на конец отработки составляют 1108 млн т. и 262 млн т. забалансовых руд [2]. Следовательно, в этом объеме суммарные ресурсы золота (с учетом вскрышных пород) составляли около 160 тонн.

Общая оценка ресурсов золота по всему месторождению (с прогнозными ресурсами железистых кварцитов) составляет 328 тонн, которые могут квалифицироваться по категории прогнозных ресурсов РЗ (табл. 2).

Ресурсы золота Костомукшского месторождения железистых кварцитов

Категории пород и железных руд	Количество		Среднее содержание Au, г/т	Ресурсы золота, т	Количество обогащенных Au пород, млн т	Среднее содержание в обогащенных зонах, г/т	Ресурсы Au в обогащенных зонах, т
	млн т	млн м ³					
Промышленные категории запасов и забалансовые руды	1370	415	0,022	30	38	0,74	28
Вскрышные породы	3421	1267	0,041	140	161	0,72	116
Итого: в контуре карьера	4790	1682	0,036	160	199	0,72	144
Прогнозные ресурсы категории P1	1100	333	0,022	24	31	0,74	23
Вскрышные породы	3267	1210	0,041	134	154	0,72	111
Итого: вне контура карьера	4367	1543	0,036	158	185	0,72	134
Все месторождение	9157	3225	0,036	328	383	0,72	277

3. РАСЧЕТ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ ЗОЛОТА В ПРЕДЕЛАХ БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ

Проявления благороднометалльной минерализации крайне неравномерно распределены в пределах месторождения железистых кварцитов. На фоне абсолютно безрудных пород встречаются многочисленные участки с высокими концентрациями золота (до 16-20 г/т). Количество таких, обогащенных золотом пород, оценивается в 383 млн. т (т.е. около 4,5% от общего объема). Эти породы, содержащие 0,72-0,74 г/т золота, несут более 84% благороднометалльного потенциала Костомукшского месторождения (277 т) (табл. 2).

Наибольшее количество обогащенных золотом пород сосредоточено на южном фланге месторождения. Здесь имеется возможность определить ресурсы благородных металлов в породах и рудах Южного карьера Костомукшского месторождения по более высоким категориям прогнозных ресурсов.

Наиболее изученная аномалия золота находится в районе геологического профиля 338 [3]. В пределах контура карьера магнетитовых кварцитов в лежачем боку рудного тела № 30 золоторудная минерализация подсечена на четырех уровнях:

- На горизонте 130 м Южного карьера золото встречено в сульфидизированных, карбонатизированных, хлоритизированных амфибол-биотитовых кварцитах и сланцах; окварцованных и сульфиди-

зированных кварц-амфибол-биотитовых и биотитовых сланцах с графитом, а также тальк-хлорит-тремолитовых сланцах. Уровень золоторудной минерализации — 0,1-0,5 г/т, максимум — до 0,78 г/т (бороздовая проба). Содержание серебра — 0,2-0,5 г/т, максимумы — 1-2 г/т. В двух пробах установлены значимые концентрации платины — 0,05 г/т и палладия — 0,05-0,1 г/т.

- На горизонте 115 м Южного карьера золото содержится в сульфидизированных и окварцованных амфиболовых, кварц-биотитовых кварцитах и сланцах, убогорудных сульфидизированных магнетитовых кварцитах. Уровень золоторудной минерализации — 0,12-0,5 г/т, максимум — до 9,1 г/т (штуфная проба). Содержание серебра — 0,2-0,5 г/т, максимумы — 4,2-102 г/т. В двух пробах установлены значимые концентрации платины — 0,05-0,08 г/т и палладия — 0,07-0,29 г/т.

- В скважине 150 оруденение располагается на двух уровнях: а) в интервале мощностью 1,1 м в тальк-хлоритовых сланцах установлено 0,14 г/т золота; б) в интервале мощностью 10,8 м в сульфидизированных и окварцованных биотитовых сланцах обнаружено 0,1-0,6 г/т металла; в карбонат-кварц-сульфидных метасоматитах по ультраосновным породам определено максимальное содержание золота — 16 г/т.

- В скважине 1212 установлены три уровня золоторудности: а) амфибол-биотитовые кварциты (интервал 1 м), содержащие 0,3 г/т металла; б) биотит-тремолит-хлоритовые сланцы (8,7 м),

содержащие 0,02-0,2 г/т золота; в) апоультрабазитовые метасоматиты биотит-хлоритового и карбонат-биотит-полевошпатового состава (2,8 м) с содержанием золота 0,2-6 г/т.

Ниже контура карьера, данная рудная зона пересекается скважиной 145 на глубине более 200 м (интервал 5,5 м), содержания золота — 0,15-1,2 г/т в милонитизированных, хлоритизированных и карбонатизированных безрудных кварцитах.

Таким образом, на этом проявлении выделяются два субпараллельных рудных тела, субсогласных общему направлению напластования пород. Ресурсы благороднометалльной минерализации на этом

участке, располагающиеся в пределах проектного контура карьера, можно подсчитать по категории P₁, а ниже контура карьера — по категории P₂. Средняя мощность рудного тела 1 — 10,4 м, среднее содержание золота 1,0 г/т, протяженность рудного тела 1 по падению — 315 м, в том числе в контуре карьера — 170 м. Средняя мощность рудного тела 2 — 7,5 м, среднее содержание золота 0,33 г/т, протяженность этого рудного тела по падению — 115 м. Протяженность обоих тел по простиранию — 100 м. Таким образом, суммарные ресурсы золота на проявлении профиля 338 составят более 1 т (табл. 3).

Таблица 3

Ресурсы золота в районе профиля 338 Южного карьера Костомукшского месторождения, кг

Рудное тело	Категория ресурсов	
	P1	P2
Рудное тело 1	530	452
Рудное тело 2	85	—
Итого	615	452

В пределах всего южного фланга Костомукшского месторождения систематического опробования руд и вмещающих пород на золото не проводилось. Благороднометалльное оруденение подсечено отдельными скважинами и охарактеризовано пробами из карьера (проанализировано всего 25 проб, выделенных при документации горных выработок по минералогическим критериям — наличие обильной сульфидной минерализации, присутствие вкрапленности арсенопирита, проявленные метасоматиты карбонат-амфибол-хлоритового состава). Однако этого количества достаточно для определения ресурсов золота в этой части месторождения по категории P₂.

На этом фланге четко выделяются две субпараллельные минерализованные золотоносные зоны длиной около 800 м каждая (включая проявления металла на профиле 338) (табл. 4):

Минерализованная зона 1: расположена между подошвой 30 рудного тела магнетитовых кварцитов

и кровлей геллефлинт, она представлена зоной переслаивания маломощных пачек пород различного состава (кварц-биотитовые, кварц-амфибол-биотитовые, филлитовидные сланцы, окварцованные геллефлинты) средней мощностью около 6 м; среднее содержание золота — 0,5 г/т.

Минерализованная зона 2: расположена в лежачем боку 15 рудного тела магнетитовых кварцитов и представлена породами пестрого состава (пироксен-биотитовые, слабрудные кварциты, кварц-биотитовые, филлитовидные, тальк-амфибол-хлоритовые сланцы), средней мощностью около 10 м; среднее содержание золота — 0,95 г/т.

Суммарные ресурсы золота в пределах Южной части Костомукшского месторождения (рудные тела 1 и 2 проявления по профилю 338 и минерализованные зоны 1 и 2 между профилями 326 и 322) составляют около 12 т металла, в том числе 615 кг — ресурсы категории P₁ [3].

Таблица 4

Ресурсы золота в пределах Южного карьера Костомукшского месторождения (P1+P2, кг)

Зоны	В контуре карьера	Вне контура карьера	Всего
Минерализованная зона 1	808	1093	1901
Минерализованная зона 2	3876	5244	9120
Итого по минерализованным зонам ресурсы категории P ₂	4684	6337	11021

Таким образом, в пределах Костомукшского месторождения железистых кварцитов возможно обнаружение золоторудных тел со значительными запасами металла. Далее, попробуем оценить возможную практическую значимость этих объектов.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ МАГНЕТИТОВЫХ КВАРЦИТОВ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

Для технологических исследований и определения содержания благородных металлов были исследованы 14 бороздовых проб магнетитовых кварцитов и вмещающих горных пород в непосредственной близости от рудных тел. Эти пробы в целом представительны для каждого конкретного рудного тела. Результаты гравитационного обогащения проб руд на концентрационном столе СКЛ-2 с контрольной перемешкой гравитационного промпродукта показывают, что содержание металла в пробах большинства кварцитов чрезвычайно низкое (менее 0,01 г/т), а технологическое извлечение золота в гравитационный концентрат незначительное (менее 1%), также крайне низкое содержание золота в нем (сотые — десятые доли г/т).

Наиболее интересные результаты получены при обогащении бороздовых проб зоны сульфидной минерализации в магнетитовых кварцитах 30-го рудного тела; зоны окварцевания и сульфидизации в магнетитсодержащих биотитовых кварцитах на контакте с этим рудным телом; магнетитсодержащих кварц-биотит-амфиболовых сланцев; сульфидизированных амфиболовых метасоматитов. В гравитационных концентратах этих проб, содержащих 0,2-0,4 г/т золота в исходной руде, обнаружено золото в количестве от 1,2 до 32 г/т [1]. Кроме того, здесь определены значимые концентрации платиновых металлов. Платина фиксируется в концентрациях от 0,1 до 1,2 г/т, а палладий — от 0,1 до 0,36 г/т. Отношение Pd/Pt изменяется от 1 до 2,6, а в пробе сульфидизированных амфиболитов это отношение ниже — 0,3, что объясняется повышенным содержанием платины в пробе.

Технологическое извлечение рассчитать можно только приблизительно, поскольку содержание благородных металлов в хвостовых продуктах ниже предела обнаружения (0,02 г/т), а выход этих продуктов чрезвычайно высокий (около 99%). Оценка извлечения золота в бедные гравитационные концентраты составила около 80-90% (табл. 5).

Таблица 5

Извлечение благородных металлов при обогащении вмещающих пород и руд Костомукшского месторождения

Пробы	Содержание Au в пробе, г/т	Содержание Au в концентрате, г/т	Извлечение в концентрат, %		
			Au	Pd	Pt
03.10	0,28	12,5	83	31	46
03.20	0,38	32	82	18	2
03.24	0,41	1,2	16	9	8
03.21	0,013	0,41	2	<1	<1
03.21/5	0,36	3,8	92	38	18

Исследования по обогащению золота, проведенные на минералого-технологических пробах вмещающих пород и руд Костомукшского месторождения, позволяют сделать следующие выводы:

1. Несмотря на крайне низкие содержания золота (0,2-0,4 г/т), оно достаточно хорошо извлекается в тяжелые фракции (концентраты) с применением простейших гравитационных методов.

2. Золото в концентратах представлено минеральными формами. Наряду с золотом в концентратах отдельных проб обнаружены повышенные содержания платины и палладия, которые также как и золото представлены минеральными формами [1, 3, 4].

3. На основе полученных данных нельзя сделать вывод о самостоятельном значении благородных металлов в пределах Костомукшского месторождения железистых кварцитов как полезного ископаемого. По всей видимости, они могут рассматриваться как попутные компоненты.

5. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛОТА В ПРОДУКТАХ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ НА ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ

Вследствие крайне низких концентраций золота в товарной руде, оно не может играть самостоятельную роль и рассматривается как попут-

ный компонент в железных рудах (табл. 1). В связи с этим, важное значение приобретает исследование поведения самородного золота в процессе обогащения железистых кварцитов. Самородное золото обладает рядом специфических свойств (высокая плотность, ковкость, диамагнетизм и пр.), благодаря которым оно может накапливаться в отдельных продуктах технологического передела железных руд.

Прежде всего, самородное золото немагнитный минерал, следовательно, при мокрой магнитной сепарации (ММС) кварцитов оно распределяется преимущественно в хвосты этой технологической операции [5, 6, 7].

А.Н. Шелехов с соавторами [8, 9, 10] показал, что текущие и лежалые отвальные хвосты ММС, представляющие собой своеобразные техногенные россыпи, особенно привлекательны для вторичной переработки на золото и другие элементы. Из лабораторных проб хвостов ММС ГОКа были получены концентраты с содержанием золота от 3,3 до 7,7 г/т при сквозном извлечении 16-52%. Среднее содержание золота по данным технологических балансов в исходных хвостах от 0,1 до 0,29 г/т. Главной проблемой при доизвлечении золота из отвальных хвостов обогатительной фабрики является их гигантское количество и высокое содержание жидкой фазы. На мощных разреженных потоках чрезвычайно сложно и дорого проводить гравитационные обогатительные операции. Поэтому обратим внимание на другие продукты технологического передела Костомукшского ГОКа.

По данным исследований А.П. Кузнецова пылей электрофильтров обжиговой машины фабрики окомкования обнаружены повышенные концентрации золота до 0,1 г/т и серебра до 10 г/т и других элементов [5]. Проведенные им исследования подтверждают возможность попутной золотодобычи при термической обработке железных руд, магнетитовых концентратов, агломерата, окатышей и пр. с невысокой сопутствующей золотоносностью путем улавливания летучих возгонов соответствующими пыле-газоочистительными устройствами. Из получаемых при этом продуктов — пылей, сажи и т.п. могут извлекаться золото и другие сопутствующие компоненты: германий, селен, теллур, таллий и другие. Однако данный продукт может иметь только второстепенное значение, поскольку количество золота, связанного с ним, мало — не более 10-30 кг в год.

В более поздних исследованиях основной упор в изучении поведения золота на железорудных

обогащательных фабриках сделан на исследовании циклических продуктов, образующихся в процессе дезинтеграции руды. После проведения операции измельчения в шаровых мельницах материал поступает на классификацию в гидроциклонах. Эти аппараты разделяют поток на две части: сливы — готовый продукт (например, для ММС) и пески — крупный продукт, который возвращается в мельницу для доизмельчения. В этих циклических продуктах (песках классификаторов, гидроциклонов разных стадий измельчения) обнаружено явление повышения концентрации золота [1].

Железистые кварциты Костомукшского месторождения обогащаются по магнитной технологической схеме. Вследствие тонковкрапленного характера оруденения на обогатительной фабрике осуществлена трехстадийная схема, включающая последовательные операции измельчения и перемешивания магнитных продуктов (рис.).

Самородное золото на первой стадии измельчения не раскрывается из минеральных сростаний, поэтому оно распределяется в магнитный продукт и отвальные хвосты пропорционально выходу этих продуктов (т.е. около 60% и примерно 40%, соответственно) при этом содержание золота в хвостах растет в 1,2 раза, а в магнитном продукте — падает в 0,85 раза. Концентрат 1 стадии ММС поступает в мельницу второй стадии измельчения. Разгруз-

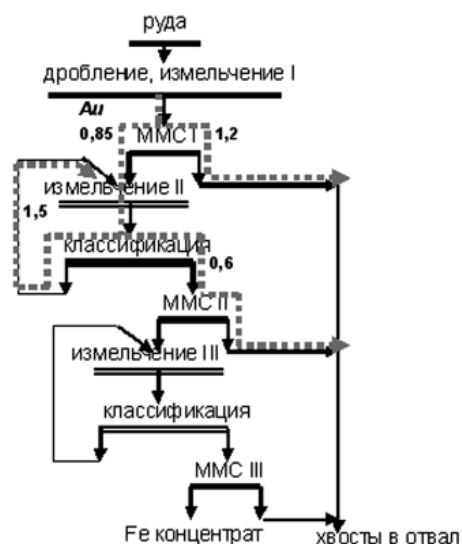


Рис. 1. Упрощенная схема обогащения железистых кварцитов на Костомукшской ДОФ и поведение золота в схеме обогащения железистых кварцитов. Цифрами показано изменение содержания золота в продуктах от исходного в руде.

ка этой мельницы подвергается классификации в гидроциклоне и поступает на вторую стадию ММС. Вследствие механических свойств самородного золота оно накапливается в циркуляционном продукте мельницы второй стадии измельчения, его содержание вырастает в 1,5-2 раза по сравнению с концентрацией в исходном продукте [11]. На второй стадии измельчения руды происходит раскрытие самородного золота из рудных сростаний, поэтому при ММС слива гидроциклона 710 золото извлекается главным образом в хвосты сепарации. Этим в частности объясняется падение концентрации золота и извлечения в циклических продуктах третьей стадии измельчения руды (табл. 6).

Таким образом, аналогично другим обогатительным фабрикам, интерес для извлечения самородного золота могут представлять два технологических продукта: пески гидроциклонов второй стадии измельчения и объединенные хвосты 1 и 2 ММС. Именно на этих технологических продуктах магнетитовых обогатительных фабрик (МОФ) получены высокие результаты обогащения золота (табл. 6).

Схема попутного извлечения золота встраивается в существующую схему обогащения железистых кварцитов. Гравитационное концентрирование самородного золота может быть организовано на песках гидроциклонов второй стадии измельчения. На этом продукте возможно применение высокопроизводительных центробежных концентраторов

большого диаметра (например, фирмы "Knelson"). Концентраты центробежной сепарации перечищаются на концентрационных столах и электромагнитом сепараторе. Как правило, немагнитные фракции такой доводки содержат высокие содержания золота, достаточные для проведения плавки в индукционных печах на сплав Доре.

Экономическая эффективность применения данной технологической схемы подтверждается расчетами (табл. 7). Предварительные расчеты экономической целесообразности извлечения попутного самородного золота из технологических продуктов обогащения железистых кварцитов показали его высокую эффективность. Так, при цене металла 580 руб/г (или около 23 долл. США за 1 г в сентябре 2007 г.) сроки окупаемости капиталовложений при сооружении участка гравитационного обогащения составляют 1,6 лет при извлечении в готовую продукцию около 50 кг металла в год (табл. 7). Экономически допустимое содержание золота в песках гидроциклонов (т.е. своеобразный аналог минимального промышленного содержания) рассчитано исходя из прироста эксплуатационных затрат, оно составляет около 0,01 г/т. При таком содержании металла в технологическом продукте обеспечивается безубыточная работа установки по извлечению золота.

Значительно более трудную задачу для обогащения представляют собой хвосты ММС. В случае Костомукшского ГОКа аналогом может быть опыт

Таблица 6

Результаты гравитационного извлечения золота из продуктов переработки железистых кварцитов разных месторождений

ГОК	Исходные продукты	Содержание Au, г/т	Концентрат		
			Выход, %	Содержание Au, г/т	Извлечение Au, %
Костомукшский	Пески гидроциклона 2 стадии измельчения	0,025-0,041	0,042-0,05	12,3-55	17,6-74,3
	Пески гидроциклона 3 стадии измельчения	0,017	0,076	9,5	42
	Хвосты фабрики	0,025-0,175	0,105-0,15	6-123	36,8-73,6
	Магнетитовый концентрат	0,018	0,023	6,5	8
Михайловский	Пески гидроциклона 2 стадии измельчения	0,094	0,1	43,5	46,3
	Пески классификатора	0,112	0,4	9,7	34,6
	Хвосты фабрики	0,042	0,3	0,4	2,8
Лебдинский	Пески гидроциклона 2 стадии измельчения	0,025	0,02	69,3	58,4
	Хвосты фабрики	0,057	0,66	3,1	3,6

Примечание: Данные [9] с добавлениями авторов.

Расчет годовой эффективности гравитационного извлечения золота из песков гидроциклонов второй стадии измельчения руды на Костомукшской ДОФ

Показатель	Количество (в год)	
Производительность, тыс. т	2000	
Содержание Au, г/т	0,041	
Добыча золота, кг	82	
Сквозное извлечение, %	58,7	
Извлечение золота в слиток, кг	48,13	
Выручка, тыс. руб. (580 руб/г)		27918
Затраты на аффинаж, тыс. руб		349
Итого выручка от реализации, тыс. руб		27569
Дополнительные эксплуатационные расходы по извлечению золота, тыс. руб	-5735	
Дополнительные капитальные затраты, тыс. руб	-25190	
Налог на добычу полезного ископаемого, тыс. руб	-1654	
Амортизация, тыс. руб	-2015	
Налог на имущество, тыс. руб	-554	
Прибыль до налогообложения, тыс. руб		21280
Налог на прибыль, тыс. руб	-5107	
Чистая прибыль, тыс. руб	16172	
Кумулятивный чистый денежный поток, тыс. руб	-9018	
Срок окупаемости, лет	1,6	

переработки хвостов ММС гравитационными способами на Оленегорском ГОКе (Мурманская область) [12]. Здесь после магнитной сепарации, с целью доизвлечения немагнитного гематита, хвосты магнитного обогащения направляются на отсадочные машины, а, затем, на концентрационные столы. Полученные гематитовые продукты содержат повышенные концентрации золота (0,2-3 г/т), они могут служить исходным продуктом для получения золотых концентратов. После магнитной сепарации гематитового продукта в поле высокой напряженности и гравитационной пересортировки немагнитной фракции получают концентраты золота пригодные к пирометаллургической переработке (до 20000 г/т). Золото образует чешуйчатые, пластинчатые, крючковидные и проволочные зерна, находящиеся в сростании с кварцем, магнетитом, роговой обманкой, халькопиритом, борнитом, алтаитом и риккардитом. Размер зерен от нескольких микрометров до 5-6 мм при среднем значении 0,3 мм. [5]. По всей видимости, на Костомукшской ДОФ организация участка гравитационного обогащения может быть увязана с проблемами доизвлечения гематита из хвостов магнитной сепарации аналогично Оленегорскому ГОКу [9, 10] или с внедрением флотационной доводки магнетитовых

концентратов при их очистке от примесей сульфидных минералов.

6. ВЫВОДЫ

В заключении выделим два аспекта, вытекающих из данного исследования:

Во-первых, в объеме Костомукшского месторождения высока вероятность обнаружения проявлений золоторудной минерализации, суммарные прогнозные ресурсы которых могут составлять более 250 тонн металла. Качество этих гипотетических руд позволяет предполагать их использование, прежде всего, как попутное полезное ископаемое. Однако, также вполне вероятно выявление и самостоятельных рудных объектов благородных металлов, для которых толщи железистых кварцитов являются обычными вмещающими породами.

Во-вторых, авторы четко представляют себе все трудности и сложности, которые возникнут при организации геологоразведочных работ на золото в пределах действующего месторождения; при создании производства по попутному извлечению золота из железных руд. Затраты на эти мероприятия не учтены в расчетах эффективности извлечения золота (табл. 7), что, по всей видимости, является предметом отдельного исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Петров, С.В.* Минералогия и геохимия благородных металлов во вмещающих породах и рудах Костомукшского месторождения железистых кварцитов (Карелия) / С.В. Петров, Т.А. Головина // Вест. ВГУ, серия геология. — №2. — 2006. — С. 149-158.
2. *Горьковец, В.Я.* Железные руды Карелии / В.Я. Горьковец, М.Б. Раевская. — Петрозаводск: КФ АН СССР. — 1986. — 56 с.
3. *Головина, Т.А.* Благородные металлы в породах Костомукшского железорудного месторождения / Т.А. Головина // Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. к.-г.м.н. — 2007. — 18 с.
4. *Головина, Т.А.* Минералы благородных металлов во вмещающих породах Костомукшского месторождения железистых кварцитов (Карелия) / Т.А. Головина // Записки РМО. — №1. — 2007. — С. 101-108.
5. *Кузнецов, А.П.* Золото в железных рудах и пути его извлечения / А.П. Кузнецов, А.Н. Шелехов // Ин-т «Черметинформация», обзорн. инф. серия: Обогащение руд. — М., 1990. — Вып. 1. — 35 с.
6. *Мызников, И.К.* Технологическая оценка отвальных хвостов магнитной сепарации железистых кварцитов КМА для организации попутной золотодобычи / И.К. Мызников, А.Н. Шелехов // Тез. докл. 2-й Межд. симп. «Проблема комплексного использования руд». — СПб.: СПбГИ. — 1996. — С. 76.
7. *Петров, С.В.* Благородные металлы в железистых кварцитах и возможность их извлечения / С.В. Петров, В.А. Сентемова // Обогащение руд. — № 6. — 1998 — С. 36-40.
8. *Шелехов, А.Н.* Предварительная технологическая оценка попутного извлечения золота из хвостов железистых кварцитов и песчано-гравийно-галечных образований / А.Н. Шелехов, В.В. Бедим, М.Н. Сычева // Руды и металлы. — 1996. — №6. — С. 74-75.
9. *Шелехов, А.Н.* Разработка промышленной технологии попутного извлечения золота при обогащении железных руд на Оленегорском ГОКе / А.Н. Шелехов, П.Е. Егупов // Тр. Регионального симп. «Благородные металлы и алмазы Севера Европейской части России». — Петрозаводск. — 1995. — С. 149.
10. *Шелехов, А.Н.* Месторождения железистых кварцитов и продукты их передела — новый перспективный источник золото-платиносодержащего сырья в 21 в. (на примере Центральной России) / А.Н. Шелехов, В.А. Лючкин, Ю.С. Ляховин // Платина России. М.: ЗАО «Геоинформмарк» — 1999. — Т. III. — Кн. 2 — С. 289-294.
11. *Богданович, А.В., Петров С.В., Шумская Е.Н.* Особенности поведения частиц самородного золота в цикле измельчения / А.В. Богданович, С.В. Петров, Е.Н. Шумская // Обогащение руд. — 2000. — №2. — С.20-23.
12. *Голиков, Н.Н.* Золотоносность железистых кварцитов Оленегорского месторождения (Кольский полуостров, Россия) / Н.Н. Голиков, П.М. Горяинов, Г.Ю. Иванюк, Я.А. Пахомовский, В.Н. Яковенчук // Геол. рудн. мест. — 1999. — Т. 41. — № 2. — С. 162-170.