

чений и при использовании промышленных технологий обогащения компании «Русский кварц» позволяет получать кварцевые концентраты, пригодные для наплава прозрачного кварцевого стекла.

Достиженные в процессе обогащения характеристики кварца жилы № 175 и малое количество ГЖВ позволяют рекомендовать его в качестве стандарта для оценки качества кварцевого сырья других месторождений кварца.

Предложенная в работе схема обогащения кварца и последующего лабораторного наплава стекла может быть использована для предварительной оценки обогатимости, плавочных свойств и пригодности кварцевого сырья для производства прозрачного кварцевого стекла.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анфилов, В.Н. Геологическое строение и генезис кварцевых жил Уфалейского комплекса на примере жилы № 2136 / В.Н. Анфилов, Л.Я. Кабанова, М.А. Игуменцева, Н.К. Никандрова // ДАН. — 2016. — Т. 466. — № 4. — С. 443–446.
2. Белковский, А.И. Геология и минералогия кварцевых жил Кыштымского месторождения (Средний Урал) / А.И. Белковский. — Миасс: ИМин УрО РАН, 2011. — 234 с.
3. Белковский, А.И. Кыштымское месторождение гранулированного кварца: история открытия, эксплуатация и проблема поисков источников особо чистого кварца / А.И. Белковский, П.А. Красильников, А.Н. Савичев / Металлогения древних и современных океанов-2000. Открытие, оценка, освоение месторождений. — Миасс: ИМин УрО РАН, 2000. — С. 245–251.
4. Белковский, А.И. Кыштымское месторождение прозрачного жильного кварца: геодинамическая «возрастная» позиция и генезис кварцевых жил (Средний Урал) / А.И. Белковский // Кварц. Кремнезем: Матер. Междунар. семинара. — Сыктывкар: Геопринт, 2004. — С. 189–191.
5. Игуменцева, М.А. Кварц Кыштымского и Кузнецкинского месторождений: состав, структура, технологические свойства / М.А. Игуменцева. — Екатеринбург: УрО РАН, 2012. — 167 с.
6. Крейсберг, В.А. Диагностика газовой примеси в кварце масс-спектрометрическим методом / В.А. Крейсберг, В.П. Ракчеев, Н.М. Серых, Л.А. Борисов // Разведка и охрана недр. — 2007. — № 10. — С. 12–18.
7. Крылова, Г.И. Геологические и минералогические сведения о кварце с торговой маркой ЮТА (США, штат Северная Каролина). Возможности поиска его аналогов в России / Г.И. Крылова, Л.С. Скобель, А.А. Митрофанов, В.Г. Балакирев // Уральский геологический журнал. — 2003. — № 4 (34). — С. 81–122.
8. Кузнецов, С.К. Особенности качества жильного кварца уральских месторождений / С.К. Кузнецов, В.П. Лютоев, С.Н. Шанина, Е.Н. Светова, Н.В. Сокерна // Известия Коми научного центра УрО РАН. — 2011. — Вып. 4 (8). — С. 65–72.
9. Кузьмин, В.Г. Минералургия жильного кварца / В.Г. Кузьмин, Б.Н. Кравец. — М.: Недра, 1990. — 296 с.
10. Петров, Н.А. Геологическое строение Кыштымского месторождения гранулированного кварца / Н.А. Петров, Е.П. Мельников // Советская геология. — 1968. — № 12. — С. 56–66.
11. Штенберг, М.В. Исследование воды в крупке жильного кварца некоторых месторождений Урала методом ИК-спектроскопии / М.В. Штенберг, П.А. Ардышев, Р.Т. Зайнуллина // Литосфера. — 2012. — № 6. — С. 119–125.
12. Штенберг, М.В. Вода и водородсодержащие группировки в жильном кварце уральских месторождений кварцевого сырья / М.В. Штенберг // Литосфера. — 2014. — № 3. — С. 102–111.

© Коллектив авторов, 2018

Игуменцева Мария Александровна // maria@mineralogy.ru  
 Кузьмин Вадим Георгиевич // info@russianguartz.com  
 Анфилов Всеволод Николаевич // anfilogov@mineralogy.ru  
 Кабанова Лариса Яковлевна // kablar@mineralogy.ru  
 Рыжков Вячеслав Михайлович // ryzhkov\_v\_m@mail.ru  
 Штенберг Михаил Владимирович // shtenberg@mineralogy.ru  
 Зайнуллина Римма Тухвателловна // zrt1011@mail.ru

Троицкий А.В., Петкевич-Сочнов Д.Г., Ануфриева С.И.,  
 Луговская И.Г. (ФГБУ «ВИМС»)

#### НОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЛУБОКОВОДНЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СУЛЬФИДОВ

*Статья посвящена исследованию вещественного состава и технологических свойств нового минерального вида полезных ископаемых Мирового океана — глубоководных полиметаллических сульфидов (ГПС). В процессе исследований изучено поведение в технологических процессах меди, железа и серы, и оценена возможность потенциального использования данного вида сырья в качестве источника для попутного получения редких и рассеянных элементов. Показано, что перспективы переработки ГПС связаны с комбинированными технологическими схемами, включающими флотацию и пиро-гидрометаллургический передел концентратов. Выявлено, что редкие и рассеянные элементы в основном сосредотачиваются в концентратах меди, цинка и железа. Установлено промышленное содержание селена и исследована возможность его попутного получения в процессе переработки исходных руд ГПС и медных концентратов.*  
**Ключевые слова:** глубоководные полиметаллические сульфиды, Мировой океан, рудное поле, флотация, плавка, медный концентрат, селен.

Troitskiy A.V., Petkevich-Sochnov D.G., Anufrieva S.I., Lugovskaya I.G. (VIMS)

#### NEW TRENDS OF DEEP-SEA POLYMETALLIC SULFIDES TECHNOLOGICAL RESEARCH

*The article is devoted to the study of the material composition and technological properties of a new mineral species of minerals of the World Ocean — deep-sea polymetallic sulphides (DSPS). In the course of research, the behavior in the technological processes of copper, iron and sulfur was studied, and the potential for the use of this type of raw material as a source for the associated production of rare and dispersed elements was estimated. It is shown that the prospects for processing DSPS are associated with combined technologies, including flotation and pyro-hydrometallurgical processing of concentrates. It was revealed that rare and scattered elements mainly concentrate in concentrates of copper, zinc and iron. The industrial content of selenium has been determined and the possibility of its associated production in the processing of initial ores of DSPS and copper concentrates has been investigated.*  
**Keywords:** deep-sea polymetallic sulfides, World Ocean, ore field, flotation, smelting, copper concentrates, selenium.

Глубоководные полиметаллические сульфиды (ГПС) являются комплексным минеральным сырьем и важной составной частью минерально-сырьевого потенциала Мирового океана. Основные их компоненты — медь, цинк, иногда свинец, в отдельных объектах серебро и

золото. Содержание меди в ГПС существенно (в 4–5 раз) выше, чем в колчеданных месторождениях суши, цинка — в 1,5–2 раза, золота — в 4–5 раз, серебра — в 2–3 раза. Содержания прочих попутных компонентов (S, Cd, Se, Tl, Te, As, Sb, Co, Ni, In, Ge) имеют широкие пределы колебаний, но, как правило, не ниже практически значимых при попутном извлечении в ходе переработки колчеданных руд континента.

В отличие от более изученных полезных ископаемых Мирового океана — железомарганцевых конкреций и кобальт-марганцевых корок, на объектах ГПС до сих пор не завершены поисковые работы. Конкретной реализацией плана работы по разведке полиметаллических сульфидов в пределах PPP — ГПС является «Контракт на разведку полиметаллических сульфидов» между Международным органом по морскому дну ООН и Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации, заключенный 29 октября 2012 г. Продолжительность контракта — 15 лет (2012–2027 гг.).

Целенаправленные геологоразведочные работы на ГПС в Мировом океане с 1985 г. осуществлялись коллективами геологов ФГУНПП «ПМГРЭ» (г. Ломоносов) и ФГБУ «ВНИИОкеангеология им И.С. Грамберга» (г. Санкт-Петербург). За это время проведено более 20 рейсов сначала в район Восточно-Тихоокеанского Поднятия (ВТП), затем в район Срединно-Атлантического хребта (САХ). В ходе этих исследований установлено, что ГПС залегают в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов (СОХ) и представляют собой практически значимый вид минерального сырья.

Основным итогом геологоразведочных работ является оценка целесообразности промышленного освоения месторождения. При этой оценке учитывают возможность использования современных технических и технологических решений в области добычи и переработки минерального сырья, обеспечивающих полноту извлечения и экономически эффективного промышленного использования полезных ископаемых и содержащихся в них основных и попутных компонентов на рациональной экономической основе.

Исследования вещественного состава, технологических свойств глубоководных полиметаллических сульфидов и разработка на основе полученных данных технологических схем извлечения полезных компонентов из этого вида комплексного минерального сырья выполнялись ЦНИГРИ как составная часть программы изучения ГПС. В ходе исследований было установлено, что большинство опробованных рудопроявлений (51 %) представлено медно-цинковыми рудами, 12 % — медными и 16 % — цинковыми; колебания в содержании железа и серы подтверждают наличие как массивных, так и вкрапленных руд; содержание основных компонентов изменяется в широких пределах; по сравнению с рудами суши ГПС обогащены благородными металлами.

Результаты технологических исследований ГПС позволили сделать вывод, что базовой технологией их переработки должна быть комбинированная схема, включающая флотацию минералов цветных металлов

и пиро-гидрометаллургическую переработку концентратов цветных металлов и пиритного продукта.

Вместе с тем, в материалах выполненных ранее работ отсутствовали данные о систематических исследованиях, касающихся наличия попутных компонентов, особенностей их поведения в процессах технологической переработки ГПС. Эти данные необходимы для проведения полноценной геолого-экономической оценки данного вида минерального сырья.

Распределение попутных компонентов при технологической переработке оценивалось в ФГБУ «ВИМС» при исследовании двух технологических проб ГПС, отобранных со станций № 34Л95 и № 34Л176. Пробы отбирались в ходе 34-го штатного рейса научно-исследовательского судна «Профессор Логачев» из двух мест забора на площади Российского разведочного района в Атлантическом океане, рифтовой долине Срединно-Атлантического хребта (САХ), в пределах листов E-23, F-23 на гидротермальном рудном поле «Петербургское».

Главными рудными компонентами являются железо и медь, содержание которых в пробах № 34Л95 и № 34Л176 — 16,3 и 8,8 %, и 39,8 и 7,05 % соответственно (табл. 1). Главные минералы железа — пирит, марказит, халькопирит; меди — халькопирит. В количестве менее 1 % медь содержится в форме других сульфидов, оксидов и хлорида, а железо — сульфатов и гидроксидов (гетита). В обеих пробах № 34Л95 и № 34Л176 установлены повышенные содержания цинка — 0,042 и 0,14 %, кобальта — 0,07 и 0,035 %; в пробе № 34Л176 — бария — 0,012 %, свинца — 0,02 %, мышьяка — 0,03 %. Свинец, мышьяк, цинк входят в структуру пирита и халькопирита.

В пробе № 34Л95 отмечены повышенные содержания церия — 0,0011 %, в пробе № 34Л176 — серебра — 0,0033 %; в обеих пробах установлены промышленные содержания селена — 0,012 % и 0,0093 % соответствен-

**Таблица 1**  
**Химический состав руды технологических проб № 34Л95 и № 34Л176**

Компонент	Содержание в пробе, %		Компонент	Содержание в пробе, г/т	
	№ 34Л95	№ 34Л176		№ 34Л95	№ 34Л176
Fe <sub>общ</sub>	16,3	39,8	Co	700	350
S <sub>общ</sub>	14,0	45,8	Zn	420	1400
Cu	8,8	7,05	Pb	5,3	200
SiO <sub>2</sub>	55,8	0,56	Se	120	93
MgO	1,0	0,11	V	14	11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,16	0,10	Ga	0,87	3,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,034	0,024	Rb	0,26	0,38
K <sub>2</sub> O	0,073	0,059	Cd	1,3	3,5
CaO	0,10	0,073	Te	1,6	2,2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,020	0,034	Re	0,26	0,022
MnO	<0,010	0,041	Tl	0,16	30
H <sub>2</sub> O <sub>связанная</sub>	2,52	2,94	Bi	2,7	4,0
H <sub>2</sub> O <sub>гигроскопич.</sub>	0,32	0,30	U	4,5	0,62

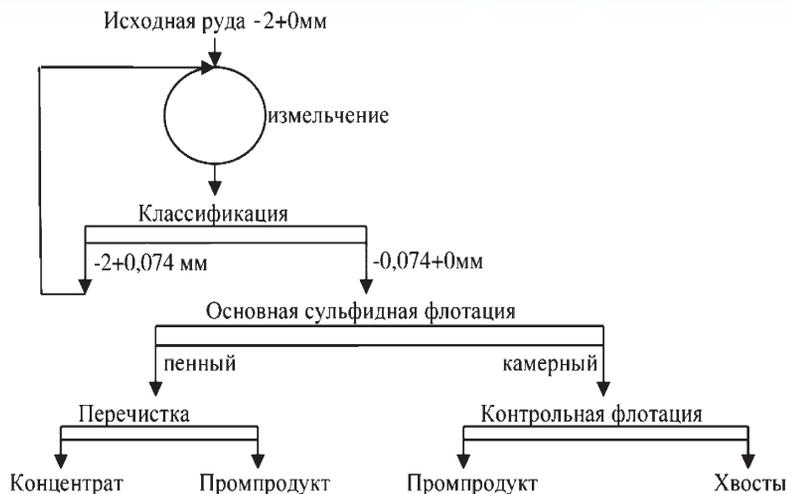


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема флотационного обогащения

но. Незначительное содержание фосфора ( $P_2O_5$  не более 0,034 %), видимо, связано с присутствием органических остатков. Сера является главным рудообразующим компонентом сульфидов, а также может присутствовать в самородной форме и в составе барита.

Руда технологических проб имеет медную специализацию. По минеральному типу руда пробы № 34Л95 — пирит-халькопирит-кварцевая, руда пробы № 34Л176 — халькопирит-марказит-пиритовая с вторичной медной минерализацией.

Для обогащения технологических проб ГПС с целью возможной концентрации попутных компонентов, в т.ч. редких и рассеянных элементов, в продуктах переработки была использована флотация. Тонина помола исходного материала составила  $-0,074+0$  мм (94–96 %) (рис. 1).

Для пробы № 34Л95 был разработан флотационный режим, обеспечивающий получение медного концентрата, содержащего 27 % Cu при извлечении — 67 %. Отмечается обогащение в продуктах флотации: примерно двухкратное по селену (со 120 до 200 г/т), висмуту (с 2,7 до 4,6 г/т) по сравнению с исходным содержанием (табл. 2). Степень перехода германия в медный концентрат незначительна (1–2 %). Основное количество германия переходит в пиритный продукт и хвосты.

Для пробы № 34Л176, характеризующейся повышенным содержанием пирита, при обогащении в режиме пиритной флотации медь концентрируется в камерном продукте, содержащем 20 % Cu при извлечении 40,6 % (табл. 2). Степень обогащения по селену этого концентрата существенно ниже (110 г/т) по сравнению с концентратом

обогащения пробы № 34Л95. В большей степени по содержанию селена обогащен и промпродукт пиритной флотации пробы № 34Л176 (127,8 г/т) (табл. 3).

Из анализа полученных результатов следует, что флотационная технология обогащения руд ГПС пирит-халькопирит-кварцевой (проба № 34Л95) и халькопирит-марказит-пиритового типов (проба № 34Л176) обеспечивает как получение медных концентратов, отвечающих по содержанию меди и качеству требованиям промышленности, так и концентрирование в них до промышленных содержаний дефицитных редких и рассеянных элементов (Se, Ge, Bi), попутное получение которых может быть осуществлено в процессе основного медного производства при переработке медных концентратов.

Для переработки медьсодержащего сырья применяются как пиро-, так и гидрометаллургические методы. Пирометаллургическая технология предусматривает переработку исходного сырья (руды или концентрата) на черновую медь с последующим ее обязательным рафинированием. Получение черновой меди в промышленных условиях может быть осуществлено в три (обжиг, плавка, конвертирование), две (плавка, конвертирование) или одну стадию (плавка на черновую медь) (рис. 2). Выбор варианта определяется содержанием основного компонента и комплексностью состава сырья. Наиболее распространенная до настоящего времени технология получения меди предусматривает обязательное использование следующих металлургических процессов: плавку на штейн, конвертирование медного штейна, огневого и электролитического рафинирования меди.

В процессе металлургической переработки сульфидного сырья селен накапливается в отходах и полупродуктах: в пылях агломерации, плавки и обжига руд и концентратов, шламах электролитического рафинирования меди-анодных шламах — основного источника получения селена. Конечные технико-экономические

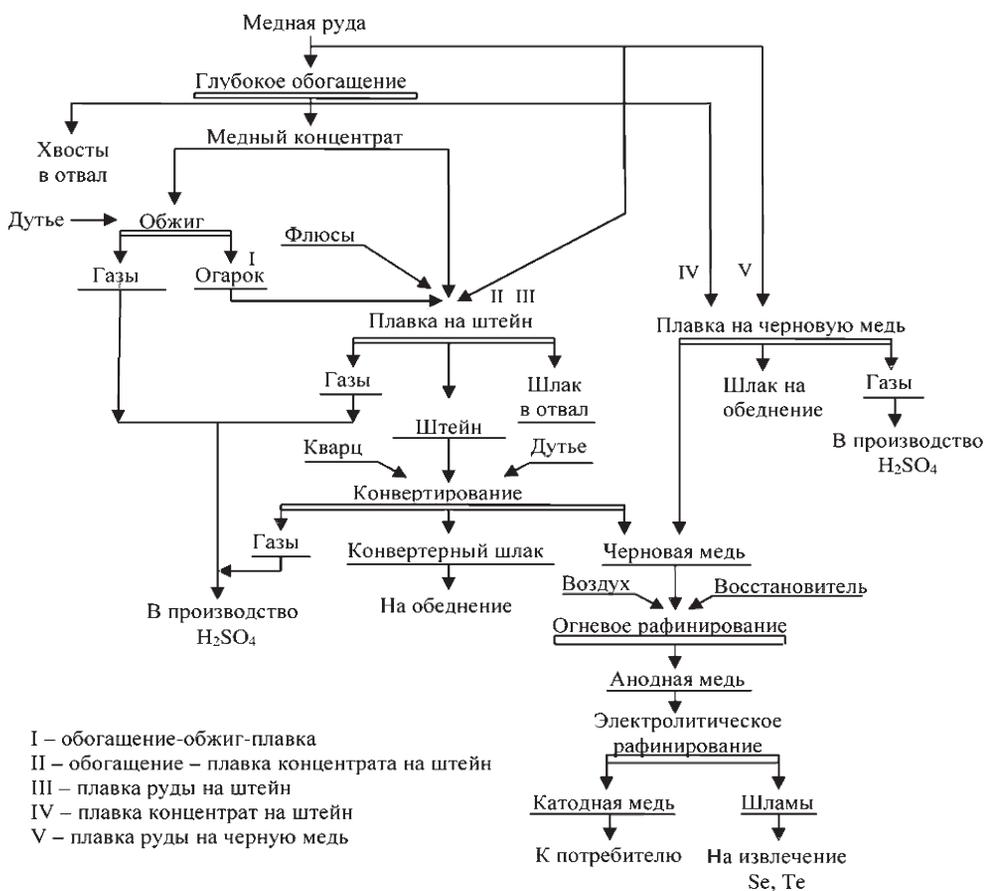
Таблица 2  
Результаты флотации ГПС

Продукты флотации	Выход	Fe <sub>общ</sub> , %		Cu, %		Se, г/т		Bi, г/т	
		Сод-е	Извл-е	Сод-е	Извл-е	Сод-е	Извл-е	Сод-е	Извл-е
<b>проба № 34Л95</b>									
Пенный продукт	21,85	33,0	44,25	27,0	67,0	200	34,4	4,6	37,15
Промпродукт	18,70	18,1	20,75	12,0	25,5	31	48,64	5,5	38,55
Камерный продукт	59,85	9,6	35,0	1,1	7,5	30	14,96	11,0	24,4
Исходная руда	100,0	16,3	100,0	8,8	100,0	120	100,0	2,7	100,0
<b>проба № 34Л176</b>									
Пенный продукт	38,3	42,0	40,4	3,3	17,9	44,0	18,1	3,4	32,55
Промпродукт	47,4	39,8	47,35	6,2	41,5	127,8	65,0	2,4	28,13
Камерный продукт	14,3	34,0	12,25	20,0	40,6	110,0	16,9	11,0	39,32
Исходная руда	100,0	39,8	100,0	7,05	100,0	93,0	100,0	4,0	100,0

**Таблица 3**  
**Распределение компонентов в исходной руде и продуктах флотации**

Компонент	Проба 34Л195			Проба 34Л176		
	Исходная руда	Пенный продукт	Камерный продукт	Исходная руда	Пенный продукт	Камерный продукт
Содержание, %						
Cu	8,80	27,0	1,1	7,05	3,3	20,0
Fe <sub>общ</sub>	16,3	33,0	9,6	39,8	42,0	34,0
S <sub>общ</sub>	14,0	—	—	45,82	—	—
Co	$7 \cdot 10^{-2}$	$11 \cdot 10^{-2}$	$7,8 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$
Zn	$4,2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-1}$	$1,4 \cdot 10^{-1}$	$5,4 \cdot 10^{-2}$
Pb	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Содержание, г/т						
Sc	< 0,4	< 0,8	< 0,8	< 0,4	< 0,8	< 0,8
V	14	11	14	11	14	29
Ga	0,87	0,39	0,67	3,5	1,3	5,4
Se	120	200	30	93	44	110
Rb	0,26	0,37	0,62	38	0,36	0,95
Cd	1,3	2,7	0,31	3,5	3,9	2,8
Te	1,6	2,4	0,72	2,2	1,7	4,5
Re	< 0,01	0,026	0,032	0,022	0,018	0,048
Tl	0,16	1,4	0,21	30	24	31
Bi	2,7	4,6	17	4	3,4	11
U	4,5	1,1	7,2	0,62	0,34	1
Ge*	< 10000	< 10000	< 5000	< 10000	[26000]	[36000]

\*Примечание: ввиду значительного количества меди в образцах, оказывающей влияние на определение германия, содержание германия приведено справочно.



**Рис. 2. Варианты технологической переработки медьсодержащего сырья**

показатели переработки ГПС будут в значительной степени определяться степенью извлечения селена на всех этапах производства, включая обогащение.

Однако выполненные исследования показали, что обогащение руд ГПС (изученных проб) сопряжено со значительными потерями ценных компонентов: извлечение меди не превышает 67 % для пробы № 34Л195 и 40,6 % для пробы № 34Л176, а извлечение селена составляет не более 36 % для медных концентратов и лишь для промпродукта пиритной флотации достигает 65 %. В то же время пробы исследуемых руд ГПС характеризуются повышенным содержанием меди (8,8 и 7,05 % соответственно) и могут рассматриваться как природный черновой сульфидный концентрат, пригодный по составу для прямого (без предварительного обогащения) пирометаллургического передела.

В процессе исследований за основной принят II вариант переработки: плавка на штейн → конвертирование штейна на черновую медь → огневое электролитическое рафинирование меди.

Окислительный обжиг является первой необязательной стадией традиционной технологии переработки сульфидного медного сырья на черновую медь, его обычно используют при переработке высокосернистых бедных по содержанию меди руд.

Основными продуктами плавки руды, концентрата, огарка являются штейн и отвальный шлак. Извлечение меди в штейн составляет 95–98 %, содержание Cu в штейне от 20–30 до 60 %, в шлаке — 0,4–0,5 %.

Конвертирование медных штейнов и рафинирование получаемой черновой меди обеспечивает получение катодной меди с качеством, требуемым промышленностью.

Основными компонентами медных штейнов являются сульфиды меди и железа. Медные штейны являются хорошими коллекторами благородных металлов. Они содержат также селен, теллур, висмут, кадмий и другие примеси. Среди элементов-спутников, присутствующих в рудах ГПС, промышленный интерес представляют селен и германий. При отражательной плавке как сырых концентратов, так и огарков при переработке медьсодержащего сырья германий более чем на 50 % переходит в шлак, на 15–20 % в штейн и до 30 % в пыли. При конвертировании медных штейнов германий в основном на 70–85 % переходит в шлак и до 20 % в пыли уноса.

При фьюминговании шлаков германий на 50–80 % переходит в газовую фазу. В шлаках германий не обнаруживается. Из-за отсутствия в настоящее время достоверных данных по содержанию германия в изучаемых рудах вопрос о возможности его извлечения требует специального рассмотрения.

При плавке на штейн независимо от степени обжига в штейн переходит 70–85 % Se и 45–65 % Te, в шлак – 5–15 % Se и 10–20 % Te, остальное возгоняется. При конвертировании штейнов большая часть селена и теллура (65–85 %) попадает в черновую медь, а при рафинировании — в анодные шламы, являющиеся в настоящее время основным источником получения селена и теллура. Суммарный выход селена и теллура в медьэлектролитные шламы из концентрата — не более 30–40 %, непосредственно из руды (проба № 34Л95) — 55–60 %.

Для руды пробы № 34Л95 и медного концентрата обогащения непосредственная плавка на штейн при комплексной переработке руды с получением наряду с медью селена обеспечивает более высокие показатели по извлечению селена в анодный шлак (табл. 4).

Аналогичные показатели по распределению селена по продуктам плавки руды на штейн получены и для пробы № 34Л176. Из-за высокого содержания пирита перед плавкой руда подвергалась обжигу. Обжиг сопровождался значительным переходом селена ( $\approx 25\%$  и более) в возгоны. Однако, так как уловленная пыль, как правило, возвращается на обжиг, то с газовой фазой уходит  $\approx 15\%$  Se.

Анодные шламы, получаемые при плавке огарка (проба № 34Л176) на штейн, более бедны по содержанию селена — 1,59 % Se при плавке руды и 1,26 % Se при плавке на штейн 20 %-го медного концентрата обогащения.

Возможность получения черного селена при переработке анодных шламов была установлена при ис-

**Таблица 4**  
Показатели плавки на штейн руды (проба № 34Л95) и медного концентрата от ее обогащения

Наименование материала	Исходная руда		Медный концентрат	
	Содержание Se, %	Извлечение Se, %	Содержание Se, %	Извлечение Se, %
Штейн	0,023	77–78	0,035	77–78
Черновая медь	0,12	83–85	0,058	75–78
Анодный шлак	2,06	60,0	2,29	40,0

пользовании наиболее распространенного на отечественных заводах способа, сочетающего окислительный обжиг шламов с содой с последующим водным выщелачиванием.

Извлечение селена из шламов составило 93 % (с учетом оборотных продуктов), из руд 55,8 %. Переработка 1 т медьсодержащих руд ГПС (пробы № 34Л95 и № 34Л176) обеспечивает попутное получение наряду с медными концентратами дефицитного селена ( $\approx 6,7$  и 5,2 кг соответственно), стоимость которого в большинстве случаев может окупить все затраты на рафинирование меди.

Таким образом, установлена возможность при переработке руд ГПС и медных концентратов обогащения попутного получения селена по комбинированной пирро-гидрометаллургической технологии, включающей операции: плавка на штейн — его конвертирование, рафинирование — окислительное спекание анодных (медьэлектролитных) шламов с содой — водное выщелачивание селена из огарка, осаждение селена из раствора сернистым газом. Технология обеспечивает попутно с катодной медью получение селена, содержащего 99,6 % основного вещества, при извлечении от руды 50 %, от медного концентрата — 30–37 %.

Наличие попутных компонентов в рудах ГПС было установлено и в 188 аналитических пробах, из них 100 — сплошных и прожилково-вкрапленных руд, металллоносных осадков и корок, а также 88 — медноколчеданных руд со всех рудных полей Российского разведочного района в Атлантическом океане: Семенов-4, Ашадзе-1, Ашадзе-2, Зенит-Виктория, Логачев-1, Семенов-5, Петербургское, Ириновское, Семенов-2, Юбилейное, Пюи-де-Фолль, Краснов (табл. 5).

Среднее содержание таллия в рудных полях составляет от 0,014 (Петербургское) до 14,44 г/т (Краснов). Учитывая, что при флотации таллий извлекается в пиритный концентрат, можно оценить рудные поля Ашадзе-1, Семенов-2 и 4, Юбилейное и Краснов как перспективные для его попутного получения.

Среднее содержание селена в пробах ГПС составляет от 3,42 (Зенит-Виктория) до 310,88 г/т (Юбилейное). Практически все руды рассматриваемых рудных полей ГПС можно отнести к промышленному типу сырья для попутного извлечения селена при производстве медьсодержащих продуктов (за исключением полей Зенит-Виктория и Пюи-де-Фолль).

Среднее содержание теллура в рудных полях составляет от 2,23 (Семенов-5) до 161,09 г/т (Логачев-1). Содержание теллура в рудах ниже среднего, характерного

Таблица 5

Среднее содержание основных и попутных ценных компонентов в пробах ГПС различных рудных полей

Рудное поле	Количество проб	Содержание, %			Содержание, г/т			
		Cu	Zn	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Co	Ni	Ga	Se
Ашадзе-1	43	10,23	3,85	40,13	1737,2	253,0	8,23	97,0
Логачев-1	31	11,63	0,85	19,41	193,83	101,03	4,73	221,51
Петербургское	9	3,67	0,15	47,76	182,83	341,0	4,12	139,9
Ашадзе-2	14	13,38	0,46	27,75	1027,62	74,78	6,12	191,05
Семенов-5	20	2,75	0,14	45,94	404,41	492,82	18,28	61,38
Семенов-2	12	6,93	0,12	41,53	180,93	43,24	5,18	142,65
Семенов-4	4	3,05	0,15	35,57	60,74	856,42	13,3	48,0
Юбилейное	29	3,76	0,14	36,69	616,18	5540,0	6,94	310,88
Краснов	9	3,09	1,89	23,66	526,35	58,97	8,26	76,14
Ириновское	8	17,32	4,64	24,92	149,92	14,9	29,50	278,7
Зенит-Виктория	5	5,35	1,46	47,94	154,0	9,33	27,42	3,42
Пюи-де-Фолль	4	3,98	3,36	40,05	994,9	6,43	29,52	15,22
Рудное поле	Содержание, г/т							
	P3Э+У	Mo	Ag	Cd	Sb	Te	Tl	Au
Ашадзе-1	2,53	25,58	46,5	154,62	27,9	16,25	6,74	2,95
Логачев-1	46,49	121,13	7,5	10,57	25,15	161,09	0,54	5,61
Петербургское	58,05	55,45	1,55	0,4	1,18	6,07	0,014	11,51
Ашадзе-2	2,06	89,58	4,4	12,3	10,14	23,23	0,12	1,64
Семенов-5	9,11	96,8	5,4	0,98	17,96	2,23	2,21	0,12
Семенов-2	0,048	67,58	7,05	0,5	3,56	10,24	2,48	0,23
Семенов-4	18,75	33,0	47,77	7,95	4,92	7,87	4,45	0,23
Юбилейное	14,67	239,37	13,38	1,41	5,83	9,54	8,55	0,18
Краснов	1,04	100,11	61,39	124,69	4,96	4,09	14,44	1,55
Ириновское	0,07	32,01	2,27	0,4	164,49	63,59	0,02	0,008
Зенит-Виктория	0,015	63,68	3,0	0,4	59,13	2,75	0,02	0,023
Пюи-де-Фолль	0,020	116,35	3,0	0,4	180,0	2,40	0,02	0,052

для медно-колчеданных месторождений (34,2 г/т). Однако в отдельных образцах отмечается повышенная концентрация теллура, поэтому при выборочной добыче ГПС это сырье может рассматриваться как перспективное на попутное извлечение теллура в медном производстве.

Среднее содержание галлия составляет от 4,12 (Петербургское) до 29,52 г/т (Пюи-де-Фолль), что является нижним пределом средней концентрации для колчеданно-полиметаллических руд.

Кадмий в образцах ГПС рудных полей Ашадзе-1 и Краснов имеет среднее содержание 154,6 и 124,7 г/т соответственно. Однако в отдельных пробах его содержание отмечается на уровне 380–1000 г/т, и связан он с цинковым минералом — сфалеритом. Содержание цинка в таких пробах повышенное — 6,7–14,0 %, поэтому при получении цинковых концентратов в процессе обогащения кадмий может рассматриваться в качестве попутного полезного компонента.

В ГПС отмечается значительное количество молибдена. Так, например, средняя концентрация во всех рудных полях, за исключением Ашадзе-1, Семенов-4 и Ириновское, превосходит показатель среднего содержа-

ния молибдена в меднопорфировых месторождениях — 50 г/т. Учитывая хорошую флотуемость молибденита при обогащении меди, можно ожидать получение кроме медного, пиритного и других, также и молибденового концентрата.

Среднее содержание редкоземельных элементов в большинстве образцов ГПС гораздо ниже кларковых, поэтому целесообразность технологической переработки ГПС с целью получения лантаноидов и иттрия крайне низка.

Проведенные технологические исследования проб ГПС подтвердили, что в настоящее время основным методом их обогащения является флотационный, аналогично балансовым рудам РФ (медные, цинковые, медно-цинковые), осуществляемый по двум вариантам схемы:

— коллективная флотация сульфидов с дальнейшей селекцией коллективного сульфидного концентрата и выделением товарных моноконцентратов меди, цинка и пиритного концентрата;

— прямая селективная флотация с выделением товарных моноконцентратов меди, цинка и пиритного концентрата.

При этом ценные попутные элементы в основном концентрируются в товарных моноконцентратах меди, цинка, пиритном концентрате и реже в хвостах флотационного процесса.

Целесообразность технологической переработки ГПС с извлечением основных и попутных элементов должна рассматриваться в сравнении с данными о переработке уже разведанных и эксплуатируемых месторождений, расположенных на суше и аналогичных морским по химическому и минеральному составам. Глубоководные полиметаллические сульфиды могут сравниваться с континентальными медными, медно-цинковыми, серноколчеданными, сфалерит-халькопирит-пиритовыми и другими типами руд, в которых минералами-концентраторами редких металлов являются халькопирит (селен, теллур), пирит (селен), сфалерит (теллур, таллий, германий, галлий, кадмий).

Совершенствование технологии переработки глубоководных полиметаллических сульфидов, включая детальное исследование поведения основных и попут-

ных компонентов в процессе обогащения при пирогидрометаллургическом переделе необходимо продолжить на рудах с других полей российского разведочного района в Срединно-Атлантическом хребте.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, В.В. Минеральное сырье. Кадмий: Справочник / В.В. Иванов, Н.С. Видякин, О.Е. Юшко-Захарова. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1997. — 22 с.
2. Иванов, В.В. Минеральное сырье. Германий: Справочник / В.В. Иванов, Е.С. Мейтов. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. — 16 с.
3. Иванов, В.В. Минеральное сырье. Селен: Справочник / В.В. Иванов, Н.С. Видякин, О.Е. Юшко-Захарова. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. — 20 с.
4. Иванов, В.В. Минеральное сырье. Таллий: Справочник / В.В. Иванов, Н.С. Видякин. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. — 19 с.
5. Иванов, В.В. Минеральное сырье. Теллур: Справочник / В.В. Иванов, О.Е. Юшко-Захарова. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. — 15 с.

6. Лодейщиков, В.В. Рациональное использование серебросодержащих руд / В.В. Лодейщиков, К.Д. Игнатъева. — М.: Недра, 1973. — 287 с.
7. Металлогения гидротермальных сульфидных руд Мирового океана // Тр. ВНИИОкеангеология. Т. 224. — СПб.: ФГБУ «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга», 2014. — 213 с.
8. Покалов, В.Т. Минеральное сырье. Молибден: Справочник / В.Т. Покалов. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1997. — 44 с.
9. Клименко, Н.Г. Технологическая классификация глубоководных полиметаллических сульфидов (ГПС) / А.И. Романчук, М.М. Задорнов, В.П. Ивановская // Руды и металлы. — 1998. — № 1 — С. 62–68.
10. Солодов, Н.А. Минеральное сырье. Иттрий и лантаноиды: Справочник / Н.А. Солодов, Е.И. Семенов, Т.Ю. Усова. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. — 48 с.

© Коллектив авторов, 2018

Троицкий Артемий Владимирович // a.v.troitski@gmail.com  
Петкевич-Сочнов Дмитрий Геннадьевич // petkevich.d.g@gmail.com  
Ануфриева Светлана Ивановна // Anufrieva.05@mail.ru  
Луговская Ирина Германовна // lig\_vims@mail.ru

## УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

УДК 553.411+622.342.1+669.219 (470)

Дорожкина Л.А. (ФГБУ «ВИМС»)

### РОССИЙСКОЕ ЗОЛОТО — ПРОИЗВОДСТВО И ПОТРЕБЛЕНИЕ

*Представлены сведения о российской золотодобывающей и перерабатывающей отрасли, а также данные о производстве, потреблении, экспорте и импорте золота. Приведена характеристика ведущих золотодобывающих компаний. Рассмотрены основные сферы использования золота, показано, что основной спрос на золото — инвестиционный и обеспечивается главным образом финансовыми организациями. Потребление золота в России полностью удовлетворяется за счет отечественного производства. **Ключевые слова:** золото, добыча, производство, золоторудные месторождения, потребление, экспорт.*

Dorozhkina L.A. (VIMS)

RUSSIAN GOLD — PRODUCTION AND CONSUMPTION

*Information on the Russian gold mining and processing industry, as well as data on the gold production, consumption, export and import are presented. Characteristics of the leading gold mining companies are considered. The main spheres of gold use are considered. It is demonstrated that the main demand for gold is investment and it is provided mainly by financial institutions. Gold consumption in Russia is satisfied by the domestic production. **Keywords:** gold, mining, production, gold-bearing ores, gold deposits, consumption, export.*

Мировой рынок золота является весьма специфическим из-за особенностей использования этого металла. Спрос на него обеспечивается не только потребностями

ми промышленности, главным образом ювелирной, но и его привлекательностью как инструмента сохранения, а также приумножения финансовых средств.

Благодаря своим уникальным свойствам золото идеально подходит для тезаврации — сбережения и накопления средств финансовыми и государственными институтами, корпорациями и частными лицами. Так, инвестиционный спрос на слитки и монеты и официальные закупки центральными банками мировых держав в 2016 г. составил 37 % потребляемого золота в мире, против 34 % в 2010 г. [8].

Более половины драгоценного металла, главным образом в виде сплавов, традиционно идет на производство ювелирных изделий. В современных технических отраслях промышленности золото находит применение в электронике, космической и авиационной промышленности, технике связи, химии и медицине. Однако последние годы доля мирового потребления золота в технических отраслях снижается главным образом за счет электроники и зубопротезирования (в 2007 г. — суммарно 17 %, в 2016 г. — 10 %) [8].

В России золото добывается из руд коренных собственно золоторудных месторождений, комплексных руд, где оно является попутным компонентом, и россыпей. Собственно золотые и комплексные руды обогащаются по сложным технологическим схемам; на каждом предприятии они подстраиваются под конкретные условия и качество сырья. На аффинажные заводы рудники могут поставлять различные виды полупродуктов, в том числе концентраты и сплав Доре, содержащий не менее 70 % золота и/или серебра.

Качество полупродуктов в каждом конкретном случае регламентируется договором между поставщиком (рудником) и металлургическим предприятием или должно соответствовать существующим стандартам и