

ПОВЕДЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРОЦЕССЕ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПЕРЕДЕЛА СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД

Проф. И. Н. Масленицкий

В сульфидных медно-никелевых рудах, как известно, всегда содержатся благородные металлы — серебро, золото и платиноиды. Особое значение имеют платиноиды — их ценность в некоторых случаях может быть равновеликой меди и никелю. Это заставляет включать в схему передела медно-никелевых руд специальные операции, связанные с извлечением благородных металлов. Практикой установлено, что благородные металлы в процессе пирометаллургического передела следуют за металлсодержащим продуктом, т. е. при переработке медно-никелевых руд последовательно концентрируются в штейне и фاینштейне. Считается, что при разделительной плавке благородные металлы также разделяются на две группы: 1) золото и серебро в основном следуют за медью; 2) платиноиды следуют за никелем.

Таким образом, уже на первой стадии пирометаллургического передела — в рудной плавке — благородные металлы избирательно концентрируются в сульфидной фазе (штейне) предпочтительно перед силикатной фазой (шлаком). Природа этого явления до сего времени не была точно установлена. В настоящей работе сделана попытка выявить причину концентрации благородных металлов в сульфидах в процессе рудной плавки медно-никелевых руд и в последующих стадиях пирометаллургического передела — при конвертировании медно-никелевых штейнов и разделительной плавке.

1. Форма нахождения благородных металлов в штейне

Концентрация благородных металлов штейнами давно привлекала внимание исследователей. В курсах металлургии очень часто говорится, что штейн является прекрасным коллектором благородных металлов. В объяснение этого явления приводится факт существования твердых растворов сульфида меди и сульфида серебра, но ссылка на растворение золота в сульфиде меди не подкрепляется экспериментальными данными.

Одной из попыток последнего времени экспериментального определения количеств золота, удерживаемых сульфидами меди и железа, являются исследования А. Е. Гуриева [2]. Он поставил опыты сплавления золота с сульфидами меди и железа и определил количество золота, оставшееся в сульфидах после отстаивания металлической фазы и остывания (табл. 1).

Полученные им результаты свидетельствуют о возможности удерживания сульфидом железа значительных количеств золота (свыше 50 кг/т или 50‰), но не дают основания делать вывод о наличии растворимости

Сплавление золота с сульфидом железа

Взятое количество золота, г	Количество сульфида железа, г	Перешло золота в сульфид железа, г	Содержание золота в сульфиде железа, %	Перешло золота в сульфид железа от общего количества, %	Примечание
9,1952	10	0,5242	5,24	5,75	С перемешиванием
5,0588	10	0,5045	5,05	10,0	То же
4,2864	15	0,4890	3,26	11,5	Без перемешивания
4,2844	15	0,4880	3,25	11,5	То же

золота в сульфиде железа. В вязком сульфидном расплаве капли золота могут образовать эмульсию и остаться во взвешенном состоянии. Наши опыты [3] подтвердили возможность механического запутывания золота в сульфидах в форме чрезвычайно дисперсных включений ($<1 \mu$). Однако такого золота, после удаления более крупных включений амальгамацией и цианированием оказалось всего 0,02% (200 г/т), т. е. почти в 250 раз меньше, чем у А. Е. Гуриева. Таким образом, проведенные им исследования не доказали возможности растворения золота в сульфиде железа. Полученные содержания золота в сульфиде 3—5% следует считать случайными, и в других условиях они, вероятно, были бы иными.

Опыты А. Е. Гуриева по растворимости золота в сульфиде меди, проведенные по аналогичной методике, показали несколько большее остаточное содержание золота в сульфидной фазе (табл. 2). Однако и эти результаты не дают основания утверждать наличие факта растворения золота в сульфиде меди.

Таблица 2

Сплавление золота с сульфидом меди

Взятое количество золота, г	Количество сульфида меди, г	Перешло золота в сульфид меди, г	Содержание золота в сульфиде меди, %	Перешло золота в сульфид меди от общего количества, %
8,7928	10	0,7477	7,48	8,55
5,0690	10	0,7108	7,12	14,12

Таким образом, небольшие по объему экспериментальные исследования по растворимости золота подтверждают факт удержания сульфидами железа и меди относительно больших количеств золота, однако не вскрывают природу этого явления.

Еще меньше данных имеется о растворимости платиновых металлов в сульфидах железа, меди и никеля и растворимости золота и серебра в сульфидах никеля. Можно указать лишь на работу И. Н. Плаксина, который установил предельную растворимость благородных металлов в продуктах разделительной плавки в следующих цифрах [6]:

	топ	боттом, кг/т
Серебро	1	2,9
Золото	28 кг/т	1,43
Платина	следы	2,15

¹ Введенные 50 кг/т серебра легко растворились.

На основании этих результатов и последующих исследований И. Н. Плаксин считает, что платиновые металлы переходят в боттом за счет смачивания и последующего растворения в сульфиде никеля. Золото и серебро хорошо растворяются в топке. Однако, поскольку топ нельзя идентифицировать с сульфидом меди, а боттом с сульфидом никеля, эти результаты будут обсуждены при рассмотрении поведения благородных металлов в процессе разделительной плавки. Таким образом, приходится констатировать, что до настоящего времени нет количественных данных о растворимости благородных металлов в сульфидах меди, железа и никеля.

Для объяснения причин перехода благородных металлов в штейны следует учесть, что в практике металлургии давно известны факты концентрации благородных металлов в металлической фазе в случае ее наличия наряду с сульфидной. Общеизвестны опыты концентрации золота в меди в процессе частичного конвертирования медного штейна [5]. При продувке штейна по стадиям в первую порцию «подовой» меди при выходе ее в 35—50% от всей меди обычно переводилось около 90—95% золота и 50% серебра (табл. 3).

Таблица 3

Результаты частичного конвертирования медного штейна

Продукты конвертирования	Вес <i>m</i>	Выход %	Содержание золота г/т	Распреде- ние золота %	Распреде- ние серебра %
Подовая медь	379	49,2		88,73	58,0
Обедненная медь	392	50,8		11,27	42,0
Всего	771	100,0	—	100,0	100,0
Подовая медь	77	44,5	27,3	90	—
Обедненная медь	98	55,5	2,31	10	
Всего	175	100,0	13,29	100,0	
Подовая медь	21	35,5	38,4	95,4	
Обедненная медь	38	64,5	1,02	4,6	
Всего	59	100,0	14,31	100,0	

Результаты избирательного конвертирования медного штейна ясно показывают, что практически золото не растворяется в сульфиде меди, так как вторая порция меди содержит всего 1—2 г/т золота, т. е. 0,0001—0,0002%. Наличие этого остаточного количества золота можно объяснить тем, что при первом этапе конвертирования, в результате которого была получена подовая медь и сульфид меди, в сульфиде меди механически запутались корольки меди, являющиеся хорошим коллектором золота. Что касается серебра, то результаты табл. 3 вполне соответствуют данным о растворимости сульфида серебра в сульфиде меди и о растворимости серебра в меди. Серебро распределяется в меди и сульфиде меди примерно пропорционально их выходу.

Аналогичные результаты по преимущественной концентрации в металлической фазе (в свинце) в процессе пирометаллургического передела свинцовых руд давно известны в заводской практике. Этот вопрос был детально освещен экспериментальными исследованиями В. Я. Мостовича [4].

Интересно, что факт коллектирования золота при плавке железом впервые был установлен знаменитым русским металлургом горным инженером П. П. Аносовым [1]. Еще в 1837 г. он показал, что при восстановительной плавке золотосодержащих песков содержащиеся в них в неболь-

ших количествах окислы железа образуют чугуны, который, несмотря на малый выход, собирает все золото. Такая предпочтительная концентрация благородных металлов металлической фазой может быть легко объяснена структурой и размерами пространственных решеток некоторых металлов и сульфидов (табл. 4). Металлы имеют кубическую структуру и близкие размеры ячеек, что позволяет им образовывать взаимные твердые растворы в большом числе комбинаций. Это подтверждается общеизвестными диаграммами равновесий (Au — Ag, Fe — Pt, Fe — Pd, Ni — Pd, Ni — Pt, Pt — Ag, Ag — Pd, Ag — Au, Au — Pt, Au — Pd и т. д.). В то же время решетки сульфидов отличаются и структурой и размерами от решеток металлов. Поэтому нет оснований ожидать растворения Au, Pt, Pd в сульфидах тяжелых металлов. Исключениями являются сульфиды серебра и меди, имеющие близкую по размерам кубическую решетку, что и подтверждается образованием твердых растворов $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Cu}_2\text{S}$.

Таблица 4

Тип структуры и размеры пространственных решеток некоторых металлов и сульфидов

Металл	Тип структуры	Размеры ячейки Å	Сульфид	Тип структуры	Размеры ячейки Å
Au	Кубический	4,06	PbS	Кубический	5,97
Ag	То же	4,07	β ZnS	То же	5,43
Co		3,55	α ZnS	Гексагональный	3,84 6,28
Cu		3,60	Cu_2Se	Кубический	5,75
Fe α		2,85	α Cu_2S	То же	5,56
Fe β (800°)		2,90	α Ag_2S		4,88
Fe γ (1400°)		3,68	PtS	Тетрагональный	4,91
Fe δ (1425°)		2,93	FeS	Гексагональный	3,43 5,75
Ni		3,49	Ni_3S_2	Кубический	4,08
Pd		3,85	(NiFe)S	Гексагональный	3,40 5,54
Pt		3,91			

Исходя из устойчивости сульфида серебра при высокой температуре, его способности растворяться в сульфиде меди, а металлического серебра — в металле, следует ожидать более или менее равномерного распределения серебра во всех фазах.

Коллектирование металлической фазой (Fe, Co, Ni, Cu и их сплавы) металлов платиновой группы, помимо структур решеток и диаграмм состояний, убедительно подтверждается специальными приемами пробирного анализа на платиновые металлы восстановительной плавкой на чугун (Ленинградский горный институт — профессор К. Ф. Белоглазов), никель или медь (Минцветметзолото — профессор И. Н. Плаксин с сотрудниками).

Проведенные в металлургической лаборатории Ленинградского горного института исследования сульфидных продуктов металлургического передела медно-никелевых руд показали наличие в них металлической фазы. Следовательно, логично было предположить, что эта металлическая фаза, а не сульфиды является коллектором благородных металлов. Поэтому первым этапом настоящей работы явилась проверка наличия в различных пробах заводских медно-никелевых штейнов постоянно присутствующей металлической фазы. С этой целью были отобраны образцы штейнов с различным соотношением меди и никеля и различной степенью недостачи серы для связывания всех металлов.

Были исследованы штейны, имевшие следующий химический состав (‰)

	Ni	Cu	Fe	S
I группа проб	13—6	9—6	44—50	26—27
II группа проб	5—11	6—15	58—45	27—28

Итак, недостаток серы для связывания всех металлов в форму сульфидов составляет 4—6‰.

Из образцов штейнов были изготовлены аншлифы, которые просматривались под микроскопом. Не ставя задачу установления вещественного состава сульфидной фазы (что, кстати сказать, очень усложнялось структурой штейна: пористостью, легкой выкрашиваемостью отдельных компонентов), под микроскопом выявляли лишь выделения металлической фазы, их наличие и крупность. Как видно из приведенных ниже микрофотографий (рис. 1 *а, б, в*), во всех исследованных образцах штейна констатированы выделения металлической фазы в форме ярких включений, в большинстве случаев имеющих прямолинейные очертания. В образцах штейна с меньшей степенью десульфуризации металлические выделения чаще представлены мелкими «зародышами», иногда в виде нитевидных выделений или мелких кристаллов правильной формы (рис. 1, *а*). В образцах штейна с меньшим содержанием серы металлическая фаза оказалась представленной более крупными выделениями (рис. 1, *б*). В масляной иммерсии при увеличении примерно в 1000 раз во всех шлифах выявляются целые колонии металлических выделений, напоминающие распады твердых растворов (рис. 1, *в*).

Таким образом, минерографический анализ подтвердил появление металлической фазы в штейне, т. е. на первом этапе пирометаллургического передела сульфидных медно-никелевых руд. Малые размеры большей части зерен металлической фазы в медно-никелевых штейнах чрезвычайно затрудняли количественное выделение металлических частиц из сульфидов.

Известными в настоящее время методами механического и флотационного обогащения невозможно полностью разделить штейн на металлическую и сульфидную фазы. Тем не менее в целях проверки факта коллектирования металлическими выделениями штейна благородных металлов мы провели концентрацию металлической фазы гравитационным обогащением измельченного штейна. Для разделения была взята проба штейна с максимальным содержанием металлической фазы и наиболее крупными ее выделениями. В результате было получено четыре продукта с различным содержанием металлической фазы. Содержание ее определялось в шлифах методом замера и подсчета металлических выделений под микроскопом. Эти подсчеты не могут претендовать на большую точность, однако относительная погрешность определений не превышала 10‰.

Определение благородных металлов в продуктах разделения производилось комбинированным химическим и пробирным методом: первичная концентрация осуществлялась сульфатизацией, осаждение платиноидов — серой, осадок сплавлялся в тигле с добавкой хлористого серебра, полученный купеляцией серебряный королек растворялся, и после отделения

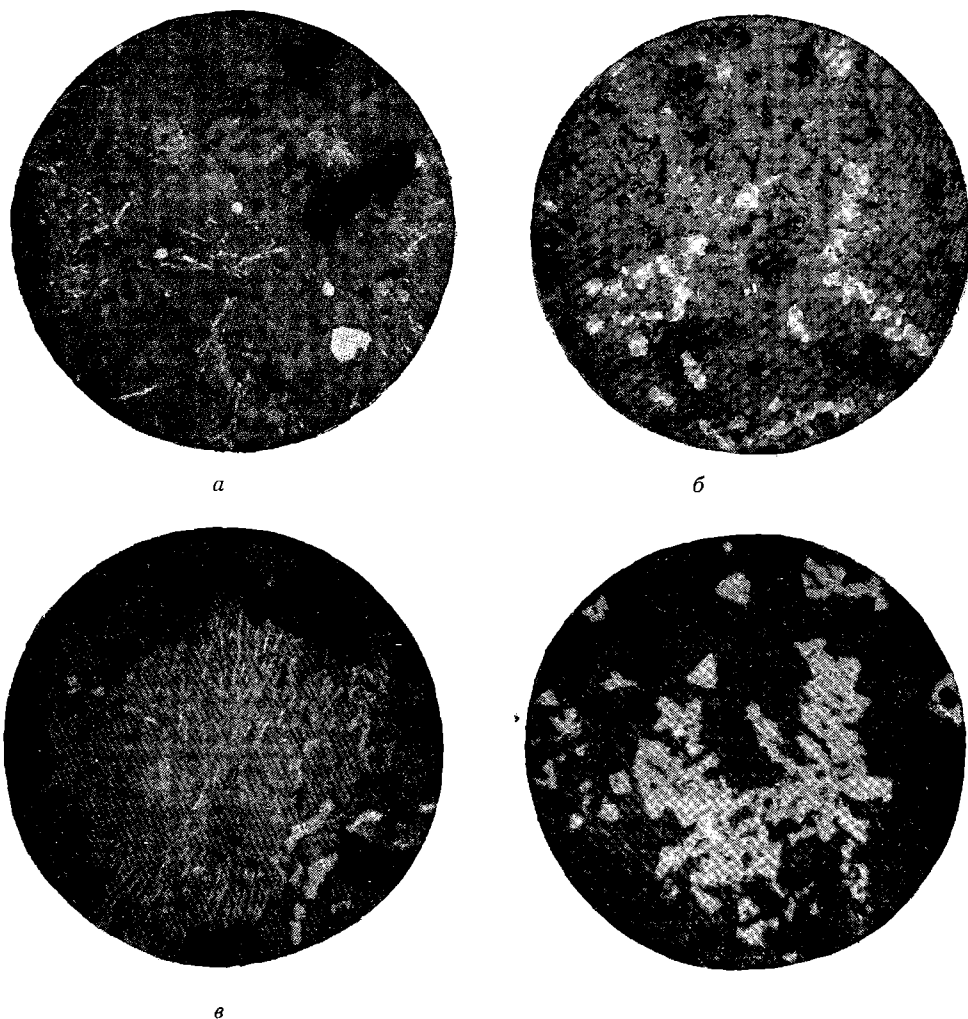


Рис. 1. Выделение металлической фазы в штейне

серебра благородные металлы Σ Au, Pt и Pd осаждались (восстанавливались) муравьиной кислотой. Таким образом, серебро по принятой методике не определялось. Полученные результаты сведены в табл. 5 и графически представлены на рис. 2.

Факт резкой концентрации (в 12 раз) благородных металлов (Σ Pt, Pd, Au) в обогащенной металлом фракции и прямолинейный характер зависимости содержания и извлечения металлической фазы (сплава) от содержания и извлечения благородных металлов дают полное основание считать, что избирательное извлечение благородных металлов штейном объясняется наличием в нем металлической фазы, в которой сконцентри-

Результаты разделения пробы штейна

Фракция	Выход %	Содержание благородных металлов, условные единицы	Распреде- ление благородных металлов %	Содержание металличе- ской фазы %	Распреде- ление металли- ческой фазы %
I	54,0	0,72	14,0	7,0	15,0
II	19,0	3,39	23,0	30,0	23,0
III	19,0	5,40	38,0	50,0	38,0
IV	8,0	8,66	25,0	75,0	24,0
Расчетные данные	100,0	2,72	100,0	25,0	100,0

ровались благородные металлы. Следовательно, если бы имелся надежный метод извлечения из штейнов металлической фазы на первом этапе пирометаллургического передела сульфидных медно-никелевых руд, то можно было бы сконцентрировать платиноиды и золото в отдельном продукте и тем упростить процесс извлечения благородных металлов и уменьшить их потери.

2. Поведение благородных металлов в процессе конвертирования медно-никелевых штейнов

При конвертировании медно-никелевых штейнов за счет окисления сульфида железа и перевода окислов железа в шлак происходит упрощение состава получаемого продукта — фاینштейна. Вместо сложной системы сульфидов меди и никеля, металлических фазы и других компонентов, находящихся в штейне во взаимном прорастании, получается смесь четко дифференцированных сульфидов меди и никеля. Металлическая фаза, присутствовавшая в штейне, также претерпевает физические и химические изменения. Ее выделения укрупняются, и количество их, как правило, увеличивается (впервые наличие металлической фазы в фاینштейне было констати́ровано в 1937 г. К. Ф. Белоглазовым и Е. В. Искюль). По составу и свойствам металлическая фаза фاینштейна становится близкой твердому раствору меди в никеле с соотношением этих металлов около 1:3—4. Четкая дифференциация основных трех фаз фاینштейна и крупность выделений металлической фазы (рис. 3) позволяют относительно легко разделить их на практически однокомпонентные фракции. На основании многочисленных химических анализов значительного количества таких продуктов разделения фاینштейна оказалось возможным довольно точно проследить распределение платины и палладия по фазам фاینштейна.

Так, для большого числа проб фاینштейна одной группы платиновые металлы распределились следующим образом (табл. 6). Колебания

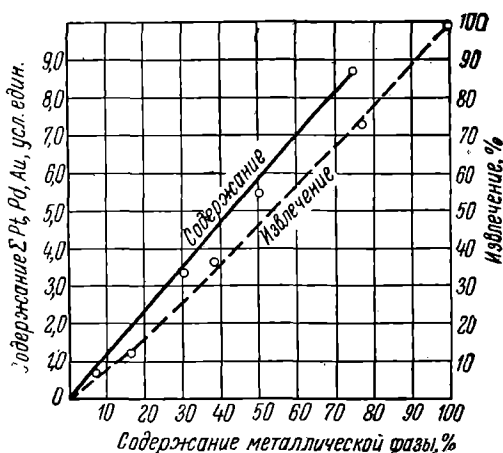


Рис. 2. Зависимость содержания и извлечения Σ Pt, Pd, Au от содержания металлической фазы

Распределение платиновых металлов между фазовыми составляющими файнштейна

Пробы	Фракция ¹	Содержание, условные единицы		Распределение %	
		Pt	Pd	Pt	Pd
I	Никелевая сульфидная фаза	Следы	0,6		до 8
	Медная сульфидная фаза	Следы	0,05—0,2		до 1
	Металлическая фаза (сплав)	2—5	25—35	98—99	92—99
II	Никелевая сульфидная фаза	Σ Pt+Pd		Pt + Pd	
		2—8		2—14	
	Медная сульфидная фаза	0,6—0,9		1—3	
	Металлическая фаза (сплав)	81—260		84—97	

¹ Фракции охарактеризованы по преобладающему содержанию в них того или иного сульфида.

в содержании и распределении платиноидов в отдельных фракциях объясняются различной степенью их чистоты, достигнутой при разделении. Более высокие содержания в металлической фракции и более низкие (до следов) в сульфидных соответствуют более полному и чистому разделению компонентов файнштейна.

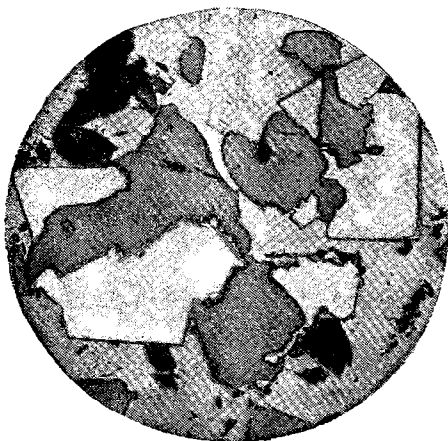


Рис. 3. Выделение металлической фазы в файнштейне

Поскольку, как указано выше, эти результаты были получены анализом многих проб продуктов разделения файнштейна, отобранных из больших масс его, можно утверждать, что платиновые металлы, сконцентрированные при рудной плавке в металлической фазе, сохраняются в ней и в процессе конвертирования штейна.

Вопрос о золоте и серебре, обычно содержащихся в медно-никелевых рудах в небольших количествах, в настоящей работе в надлежащей степени не был уточнен.

Исходя из физико-химических свойств золота, следует ожидать, что в основном оно также должно быть сконцентрировано в металлической фазе. Серебро, имеющее большое сродство к сере и сульфидам, может распределиться между металлической и сульфидными фазами. В целях проверки этих предположений нам удалось поставить лишь три опыта насыщения файнштейна благородными металлами и последующего анализа фракций разделения. Для более четкого выявления растворяющего

действия металлической фазы на благородные металлы была сделана попытка сульфидизации благородных металлов и стимулирования перехода их в сульфидную фазу¹. Порошки благородных металлов были осторожно сплавлены с избытком серы. Измельченные сульфиды (из расчета — каждого благородного металла по 2 кг/т файнштейна) и файнштейн тщательно перемешивались, брикетировались под прессом для уменьшения

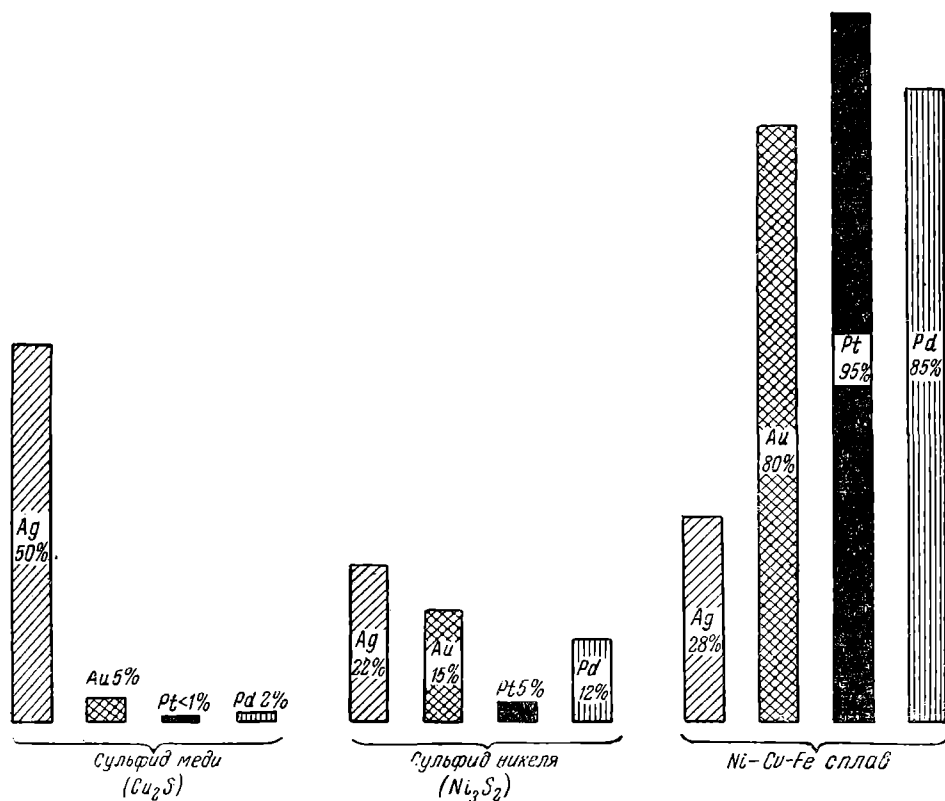


Рис. 4. Распределение благородных металлов по фазовым составляющим файнштейна

окисления при расплавлении, загружались в заранее нагретый в печи до 1200° тигель и быстро расплавлялись. Для обеспечения более крупной кристаллизации составляющих файнштейн компонентов расплав медленно охлаждался в тигле вместе с песью. Охлажденный файнштейн измельчался до —200 меш и подвергался разделению на однокомпонентные фракции. Это разделение в лабораторных условиях протекало менее совершенно, чем в промышленных условиях: во всех опытах часть пробы оставалась неразделенной. Результаты анализа полученных фракций разделения сведены в табл. 7 и графически представлены на рис. 4.

При аналитическом определении благородных металлов, естественно, получились некоторые потери: вместо введенных 0,2% (2 кг/т) благородных металлов в большинстве случаев содержания в исходном материале, рассчитанные по составу продуктов, получились меньшие—0,183—0,195%.

Несмотря на некоторые недостатки в аналитической оценке результатов разделения и неизбежное несовершенство самого разделения фа-

¹ Эти опыты были проведены совместно с А. М. Вербовским.

Распределение благородных металлов по составляющим фазам¹

Продукты распределения	Выход %	Содержание, %						Распределение, %					
		Cu	Ni	Ag	Au	Pt	Pd	Cu	Ni	Ag	Au	Pt	Pd
		Опыт											
Медный сульфидный продукт	19,0	68,40	8,34	0,39	0,02	0,001	0,02	44,5	3,5	40,0	2,0	0,1	2,0
Никелевый сульфидный продукт	46,5	14,52	55,92	0,05	0,12	0,02	0,04	23,0	61,0	12,0	20,5	4,6	9,4
Неразделившиеся сростки сульфидов	14,0	41,5	28,0	0,30	0,09	0,02	0,05	19,5	9,0	23,0	7,5	1,3	3,6
Металлическая фракция (сплав)	18,5	20,82	60,51	0,25	0,69	0,96	0,85	13,0	26,5	25,0	70,0	94,0	85,0
Расчетные данные	100,0	29,45	42,69	0,185	0,183	0,190	0,188	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Опыт 2													
Медный сульфидный продукт	29,7	68,66	9,10	0,31	0,03	нет	0,02	64,3	6,5	46,3	4,7		3,2
Никелевый сульфидный продукт	43,8	10,92	59,82	0,10	0,07	0,03	0,06	15,3	57,0	22,0	15,8	6,4	13,8
Неразделившиеся сростки сульфидов	8,2	32,0	43,1	0,21	0,04	0,02	0,06	8,4	9,0	8,5	1,7	0,6	2,7
Металлическая фракция (сплав)	17,7	21,46	61,28	0,26	0,84	1,05	0,86	12,0	27,5	23,2	77,8	93,0	80,3
Расчетные данные	100,0	31,53	40,15	0,199	0,192	0,201	1,189	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Опыт 3													
Медный сульфидный продукт	25,2	66,4	8,44	0,31	0,014	0,006	0,01	54,0	5,0	40,0			1,0
Никелевый сульфидный продукт	45,3	12,32	59,04	0,09	0,06	0,002	0,08	17,5	62,0	21,0	13,5	0,5	12,2
Неразделившиеся сростки сульфидов	11,3	41,23	26,12	0,27	0,05	0,03	0,04	15,0	7,0	15,0	2,5	1,5	2,5
Металлическая фракция (сплав)	18,2	22,98	58,96	0,25	0,93	1,07	0,88	13,5	26,0	24,0	84,0	98,0	84,3
Расчетные данные	100,0	31,21	23,19	0,195	0,201	0,199	0,188	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

¹ При построении графиков металлы, удержанные неразделившимися сростками сульфидов, равасингованы между основными продуктами.

зовых компонентов файнштейна, полученные результаты в основном подтверждают высказанные предположения. Платина и палладий практически нацело концентрируются в металлической фазе — Pt на 93—98%, Pd на 80—85%; золото также в значительной степени (70—84%) переходит в металлическую фазу. Фактический переход этих металлов в никелево-медный сплав выше приведенных цифр, так как при разделении часть сплава остается в сродках с сульфидами и тем повышает в них содержание благородных металлов, создавая впечатление некоторой растворимости платиноидов и золота в сульфидах. Несколько непонятен переход некоторой части золота в никелевый сульфидный продукт (13—15 и даже 20% по одному анализу). Этот факт требует проверки. Серебро распределяется по всем фракциям с тенденцией концентрирования в медной сульфидной фракции.

Дополнительный поверочный опыт введения в файнштейн больших количеств серебра (0,5% или 5 кг/т) подтвердил характер поведения серебра: в сульфидной фазе — никелево-медной (при выходе около 85%) оказалось 45% серебра, в металлической (выход 15%) — 55%. В этом случае, однако, при повышении общей концентрации в сульфидной фракции содержание серебра по сравнению с первой серией опытов повысилось незначительно. В первой серии опытов в объединенной сульфидной фракции серебра было 0,18%, в металлической фракции — 0,25%, во втором опыте в объединенной сульфидной фракции серебра оказалось 0,25%, а в металлической — 1,85%. Таким образом, при увеличении концентрации серебра в файнштейне в 2,5 раза в сульфидной фракции концентрация повысилась в 1,4 раза, а в металлической — в 7,5 раза. Это указывает на значительно меньшую растворимость серебра в сульфидной фазе по сравнению с металлической.

Полученные результаты следует рассматривать пока как ориентировочные. Для точного выявления характера распределения благородных металлов по компонентам файнштейна необходимо поставить большое число опытов разделения файнштейна с различным содержанием благородных металлов, провести полные химические анализы всех продуктов разделения и рассчитать их вещественный состав. После этого на основании обработки полученных результатов можно с достаточной надежностью вычислить коэффициенты распределения благородных металлов. Однако проведенные анализы продуктов заводского разделения файнштейнов и поставленные в лаборатории опыты дают достаточные основания для утверждения об избирательной и практически полной концентрации платины, палладия и золота в металлической фазе файнштейна.

3. Поведение благородных металлов в процессе разделительной плавки файнштейна

Распределение благородных металлов в продуктах разделительной плавки файнштейна в свое время довольно детально изучалось группой металлургии Ленинградского горного института. Большим экспериментальным материалом было четко установлено, что при разделительной плавке платина и палладий переходят в никелевый продукт (боттом). Степень перехода платины и палладия в натрово-медный сульфид (топ) определяется соотношением меди и никеля в разделяемом файнштейне. Чем выше содержание меди в файнштейне, тем большее число платиноидов (при прочих равных условиях) перейдет в натрово-медный сульфид. В отличие от платиноидов золото и серебро переходят в основном в натрово-медный сульфид. Было высказано предположение, что серебро

в основном следует за медью и, повидимому, аналогично серебру ведет себя и золото. Впоследствии это было подтверждено результатами работы промышленных предприятий и поэтому не требует дополнительных экспериментальных исследований.

Этому вопросу посвящена работа И. Н. Плаксина, где такое поведение благородных металлов в процессе разделительной плавки объясняется различием в кинетике смачивания благородных металлов расплавленным топом и боттомом [6]. Золото и серебро, как установлено опы-

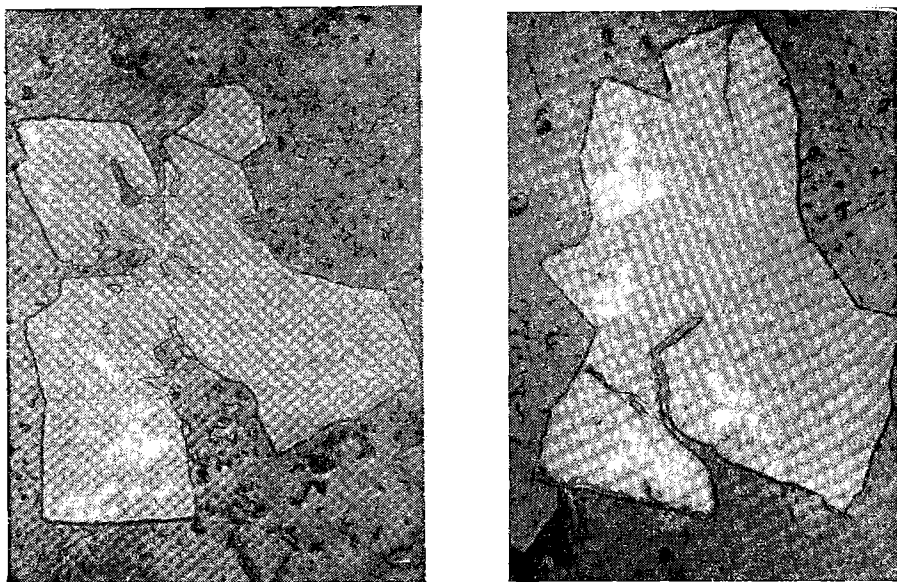


Рис. 5. Выделение металлической фазы в боттоме

тами, моментально смачиваются топом; процесс смачивания платины протекает менее интенсивно. Сульфид никеля (вернее боттом) не смачивает золота, а интенсивность смачивания золотосеребряных сплавов увеличивается в сторону сплавов, богатых серебром. Платина смачивается боттомом моментально. На основании этого делается вывод о переходе платиновых металлов в боттом за счет эффективного смачивания их и последующего растворения в сульфиде никеля, в котором при застывании образуется твердый раствор платиновых металлов.

Не отрицая роли смачивания в коллектировании благородных металлов той или иной расплавленной фазой в начальный период металлургического передела, значение полученных И. Н. Плаксиным показателей смачивания благородных металлов на данном этапе передела следует признать ограниченным. Исходя из установленного в настоящей работе факта концентрации платиновых металлов в металлической фазе уже в процессе рудной плавки, можно утверждать, что для концентрации платиноидов в боттоме нет надобности в смачивании их сульфидом никеля, так как платиноиды уже находятся в металлической фазе файнштейна. В процессе разделительной плавки металлическая фаза претерпевает изменения — при сульфидизации из нее уходит медь и тем повышается содержание никеля. Поскольку никель образует непрерывные твердые растворы с платиноидами, последние будут удерживаться металлической фазой и вместе с ней перейдут в боттом.

Работами группы металлургии Ленинградского горного института (проф. К. Ф. Белоглазов и Е. В. Искюль) наличие металлической никелевой фазы в боттоме было показано вполне убедительно как химическими, так и минералграфическими методами исследования.

В целях подтверждения концентрации платиновых металлов в металлической фазе, а не в сульфиде никеля, нами была подвергнута исследованию одна проба заводского боттома. Как показал минералграфический анализ, эта проба боттома содержала крупные включения никелевой металлической фазы (рис. 5). Выделенные наиболее крупные кристаллы имели следующий состав: 89,71% Ni; 0,70% Fe; 6,61% Cu; 1,79% S. В то же время сульфидная фракция боттома, не лишенная, конечно, мелких включений металла, имела состав: 70,85% Ni; 0,93% Fe; 1,32% Cu; 25,67% S, т. е. практически представляла Ni_3S_2 .

Полное выделение из боттома металлической фазы приемами механического обогащения оказалось затруднительным. Однако после измельчения пробы боттома до $-0,074$ мм были получены фракции с различным содержанием металлической фазы. Фракции подвергались химическому анализу на содержание суммы платиновых металлов и минералграфическому анализу на содержание металлической фазы (табл. 8 рис. 6).

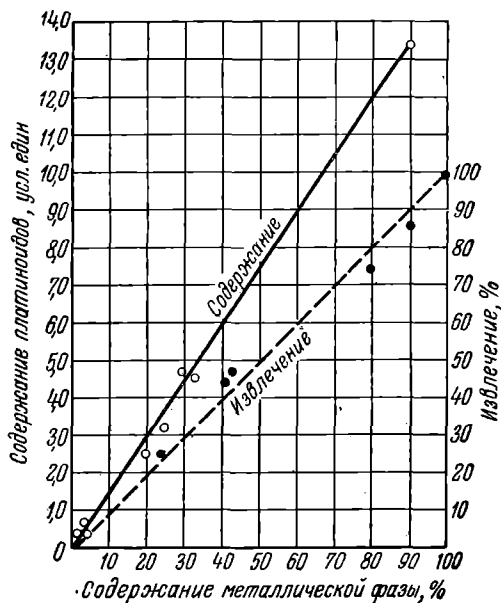


Рис. 6. Соотношение содержаний и извлечений платиноидов в боттоме

Таблица 8
Распределение платиноидов по продуктам разделения боттома

Фракция	Выход %	Содержание платиноидов, условные единицы	Распреде- ление платиноидов %	Содержание металличе- ской фазы %	Распреде- ление металличе- ской фазы %
Опыт 1					
I	3,0	13,4	24,7	90	24,0
II	6,5	4,5	18,4	32—35	19,3
III	16,0	3,2	32,2	25	35,5
IV	19,5	0,6	7,3	—	—
V	55,0	0,5	17,4	—	—
Расчетные данные	100,0	1,59	100,0	11,23	100,0
Опыт 2					
I	17,5	4,6	45,0	30	44
II	28,0	2,6	41,0	20	46
III	54,5	0,45	14,0	2	10
Расчетные данные	100,0	1,76	100,0	11,97	100,0

Полученные данные о содержании и извлечении платиновых металлов в продуктах разделения боттома, вполне согласующиеся с содержанием и извлечением металлической фазы, дают полное основание утверждать, что в боттоме платиновые металлы извлекаются металлической фазой, а не сульфидом никеля. Поэтому можно считать, что при разделительной плавке технически осуществимо выделение из боттома благородных металлов и концентрация их в небольшом объеме металлической фазы.

Выводы

1. Высказываемое мнение о коллектирующем действии штейнов по отношению к благородным металлам вследствие растворимости благородных металлов в сульфидах лишено оснований по отношению к платиновым металлам и значительной части золота. Лишь серебро в форме сульфида обладает способностью до известного предела концентрироваться в расплавленных сульфидах.

2. Сульфидные продукты пирометаллургического передела медно-никелевых руд (штейн, фاینштейн, боттом) коллектируют платиновые металлы, в значительной степени золото и частично серебро, вследствие наличия в сульфидах металлической фазы, смачивающей и растворяющей благородные металлы.

3. Извлеченные на первом этапе передела в металлическую фазу платиновые металлы удерживаются этой фазой до конца, несмотря на происходящие изменения в ее составе в процессе пирометаллургического передела.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аносов П. П. О изобретенном полковником Аносовым способе обрабатывать золотосодержащие пески плавкою. Горный журнал, 1837, кн. 3.
 2. Гуриев А. Е. Распределение золота между штейном и веркблеем. Цветные металлы, 1938, № 12, стр. 60.
 3. Масленицкий И. Н. Дисперсные включения золота в сульфидах железа. Записки Ленинградского горного института, 1948, т. XVII—XVIII.
 4. Мостович В. Я. Извлечение золота и серебра из штейнов с помощью свинца. Сборник трудов проф. В. Я. Мостовича. ОНТИ, 1936, т. I, стр. 227—245.
 5. Мостович В. Я. Пирометаллургия меди. Metallurgizdat, 1944, стр. 303.
 6. Плаксин И. Н. Методы извлечения платиновых металлов. Поведение платины в пирометаллургических процессах. Цветные металлы, 1944, № 1, стр. 26—27.
-