

6. Волков А.В., Сидоров А.А. Геолого-генетическая модель месторождений золота Карлинского типа // Литосфера. – 2016. – № 6. – С. 145-165.
7. Коломоец А.В. Условия формирования Кумакского месторождения черносланцевой формации (Оренбургская область) // Вестн. Забайкальского гос. ун-та. – 2018. – №6. – С.28-35. – DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-6-28-35.
8. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Выпуск «Золото». – М.: ЦНИГРИ, 2002. – 128 с.
9. Развозжаева Э.А., Прокофьев В.Ю., Спиридонов А.М. и др. Благородные металлы и углеродистое вещество в рудах месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь, Россия) // Геология рудных месторождений. – 2002. – Т.44, № 2. – С.116-124.
10. Сметанников А.Ф., Седых Э.М. Особенности анализа золота, связанного с органическими соединениями // XXI Международная Черняевская конференция по химии, аналитике и технологии платиновых металлов: тез. докл. – Екатеринбург, 2016. – С. 61.
11. Сметанников А.Ф., Шанина С.Н., Синегрибов В.А., Юдина Т.Б., Седых Э.М. Благородные металлы Верхнекамского месторождения солей // Горн. журн. – 2006. – № 6. – С. 62-64.
12. Сметанников А.Ф., Шанина С.Н. Проблема диагностики и извлечения органических соединений благородных металлов в некоторых породах // Органическая минералогия: материалы IV Рос. совещ. с междунар. участием / ИЭМ РАН [и др.]. – Черногоровка, 2013. – С. 142-145.
13. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. Ч. 1: Очерк / Ин-т геологии Коми НЦ УрО РАН. – Сыктывкар: Пролог, 1997. – 212 с.

УДК 553.041+553.046

DOI:10.7242/echo.2024.3.2

СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ ФЛОТАЦИОННЫХ ШЛАМОВ И УГЛЕРОДИСТЫХ СЛАНЦЕВ, СОДЕРЖАЩИХ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ МАЛООБЪЕМНЫХ ПРОБ

Д.В. Оносов, А.Ф. Сметанников
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Установлена связь концентраций благородных металлов с органическими соединениями в отходах переработки К-Mg руд (флотационных шламах) и в углеродистых сланцах месторождения «Сухой лог». Выявлен способ преобразования органических соединений благородных металлов посредством высокотемпературного обжига в интерметаллиды Pd, Pt, Ag в шламах и в самородно-техногенное Au в углеродистых сланцах. Разработана принципиальная аппаратно-технологическая схема переработки как шламов, так и углеродистых сланцев.

Ключевые слова: складированные флотационные шламы, высокотемпературный обжиг, хлоридные агенты, углеродистые сланцы, органическое вещество, интерметаллиды палладия, платины, серебра, самородно-техногенное золото, хлориды, вещественный состав.

Введение

В 2004-16 гг. была разработана технология переработки галургических шламов с целью извлечения благородных металлов, включающая обжиг при температуре до 800°C в окислительно-восстановительных условиях в присутствии хлоридных агентов. Обжиг инициировал твердофазное преобразование соединений Pd, Pt, Ag, Au в кислоторастворимую форму [1-4]. Обоженный шлам (огарок) подвергался кислотно-сорбционной переработке.

Конечным продуктом являлся коллективный концентрат (КК), содержащий Pd, Pt, Ag, Au. Аффинаж опытной партии КК позволил получить соли чистых металлов – дихлордиаминпалладий, хлорплатинат аммония и хлорид серебра. Ниже показана аппаратно-технологическая схема переработки галургических шламов с кислотно-сорбционным окончанием (рис. 1).

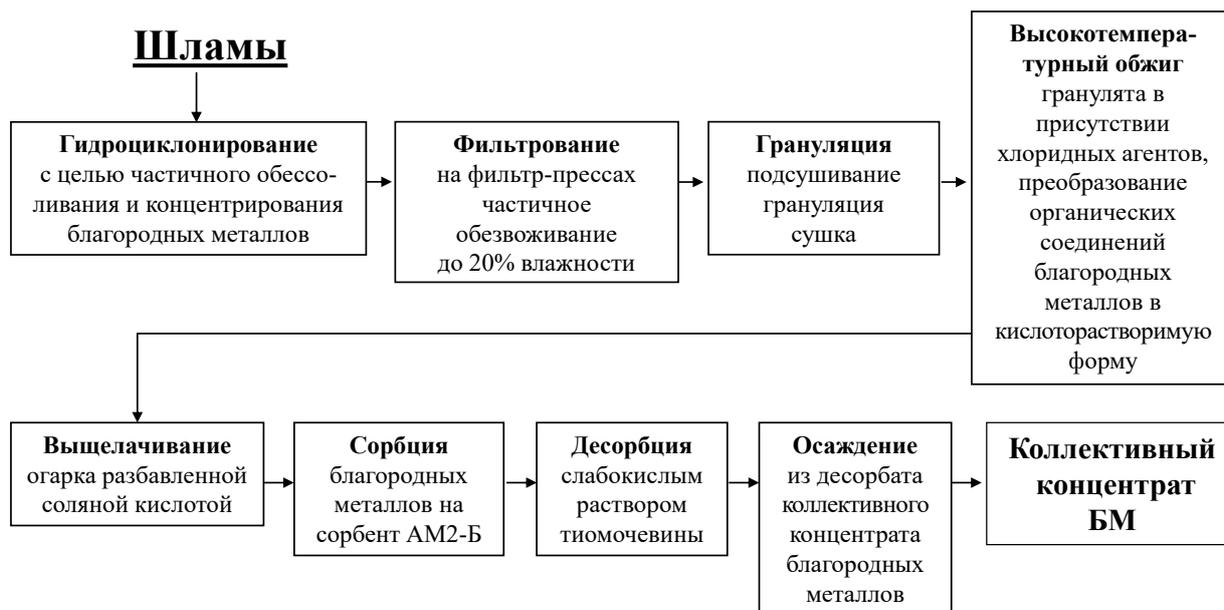


Рис. 1. Схема переработки галургических шламов

Исследования по обжигу складированных флотационных шламов выявили возможность более глубокого преобразования органического вещества шламов при температурах обжига выше 800°C с формированием интерметаллидов благородных металлов. Кроме того, применение высокотемпературного обжига углеродистых сланцев, содержащих органическое вещество, позволило получить самородно-техногенное золото высокой чистоты. Иначе говоря, сформировалась единая технология (способ) переработки соляных пород и углеродистых сланцев, содержащих органические соединения благородных металлов. Позиционировано использование вторичных отходов после переработки шламов в качестве комплексных удобрений [5-8].

Результаты исследований

Складированные флотационные шламы

В 2019-22 гг. проводились исследования по обжигу складированных флотационных шламов, содержащих от 20 до 30% остаточных хлоридов, в интервале температур $800-900^{\circ}\text{C}$. Пробирно-масс-спектрометрический анализ исходных гранулированных шламов и обожженных шламов (огарков), показал высокие содержания Pd, Pt, Ag (табл. 1). Испытания были проведены на технологической пробе (ЗБ УЛТП-4), отобранной в шламохранилище БПКРУ-3 ПАО «Уралкалий». Проба объемом 200 л, вес около 350 кг. После сушки и обжига вес пробы (огарка) составил 213 кг. Далее проводились лабораторные испытания на навесках в 1, 3 и 6 кг, отобранных от основной части обожженной пробы (огарка). Испытания заключались в анализе исходных навесок огарка пробирно-масс-спектроскопическим способом и обогащении основной части пробы. Обогащение включало дешламацию измельченного огарка, отмывку песков и магнитную сепарацию полученного концентрата. Затем проводился микрозондовый анализ концентратов для выявления фазового состава компонентов концентрата и формы их нахождения.

Результаты показывают, что после обжига в хлоридной среде происходит отжиг органических соединений и формирование высоких концентраций Pd, Pt, Ag.

Поскольку Au связано с гематитовым пигментом сильвина, то содержание его незначительно в огарке и обусловлено наличием остаточного сильвина (во флотационных шламах содержится до 6% остаточного сильвина). Ниже (табл.1) показаны результаты анализа исходных (гранулированных) и обожженных шламов (огарков).

Таблица 1

Результаты анализа исходных и обожженных шламов
пробирно-масс-спектрометрическим методом

Пробы	Содержания, г/т			
	Pd	Pt	Ag	Au
Исходный шлам – гранулят	0,027	0,0047	0,021	0,0679
Обожженный шлам – огарок	71,5	9,9	51,92	0,0821

После дробления навески весом 3 кг было проведено обесшламливание и из песков были изготовлены шлифы, которые были исследованы под микрозондом. В шлифах были обнаружены интерметаллидные срастания Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb (рис. 2, 3).

Далее исследовалась обогатимость огарка на навеске 6 кг. Материал пробы дробился, измельчался до 0,1 мм и проходил стадию обесшламливания. Выход песков составил около 10%. Затем пески проходили процесс отмывки (концентрирования – концентратор КПВ-1), выход концентрата составлял 10% от операции и 1% от исходного.

Концентрат представлял собой смесь интерметаллидов Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb и интерметаллидных обособлений Fe, Cr, Ni. Соотношение в концентрате Fe, Cr, Ni – 85-90%; Pd, Pt, Ag, Sn, Cu, Pb – 15-10%. Обособления Fe, Cr, Ni обладают высокими магнитными свойствами. Кроме того, их плотность соответствует плотности интерметаллидных обособлений Pd, Pt, Ag, Sn, Cu, Pb. Это обстоятельство способствует их совместному выходу в тяжелую фракцию при гравитационном обогащении и дальнейшее разделение с помощью электромагнитной сепарации. На рисунках 4, 5 показаны: концентрат интерметаллидов Pd, Pt, Ag, Sn, Cu, Pb, их валовый анализ и микрозондовое фото отдельных обособлений.

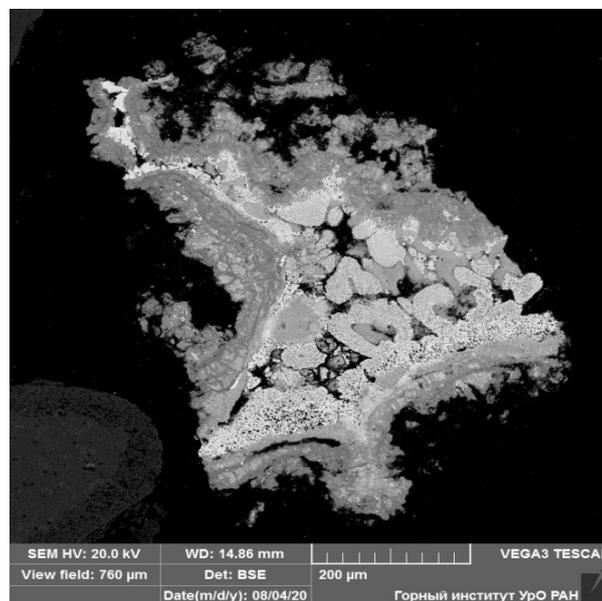


Рис. 2. Электронное фото срастания интерметаллидных обособлений. Обзор

Таким образом, переход на обжиг при температуре выше 800°C приводит к образованию интерметаллидных обособлений Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb. Далее следует обогащение гравитационными методами с выходом концентрата этих обособлений, пригодного для аффинажного преобразования.

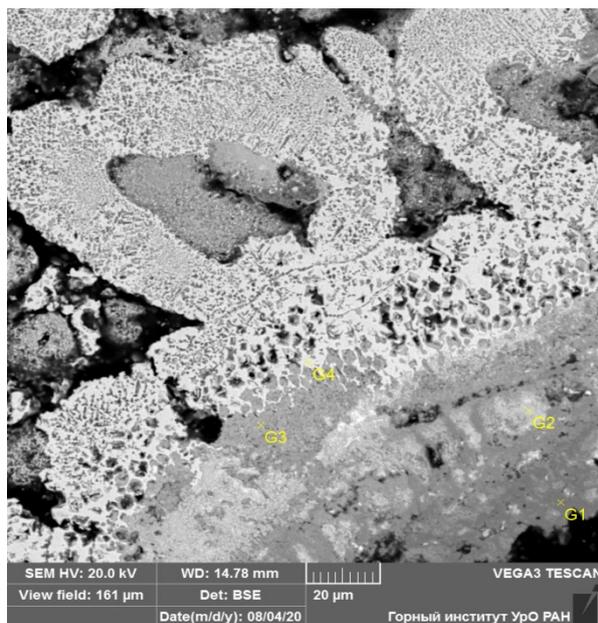


Рис. 3. Электронное фото срастания интерметаллидных обособлений. Деталь

Таблица 2
Элементный состав отдельных фаз срастаний

Элементы	Содержания, %			
	G1	G2	G3	G4
O	17,47	16,89	15,97	-
Pd	-	-	-	47,26
Pt	-	-	-	8,96
Ag	-	8,74	4,08	-
Sn	0,23	47,95	68,64	28,39
Pb	-	22,59	2,01	-
Cu	82,3	3,02	7,58	15,4
Σ	100	100	100	100

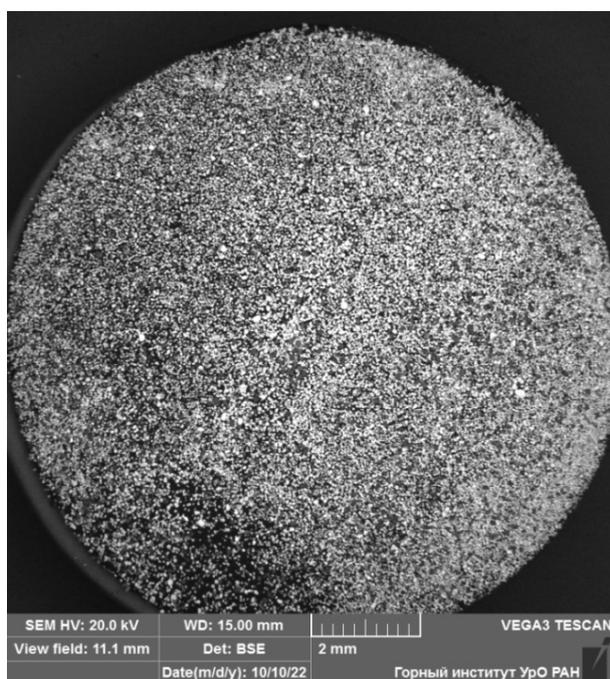


Рис. 4. Электронное фото. Немагнитная фракция концентрата. Фракция 0,045 мм. Интерметаллидные обособления Pd, Pt, Ag, Sn, Cu, Pb

Таблица 3
Валовый элементный состав участка 5 x 5 мм

Элементы	Содержания, %
O	22,45
Si	6,06
S	0,61
Ca	1,50
Ti	1,38
Cr	0,15
Fe	0,67
Ni	0,27
Br	1,19
Zr	3,50
Cu	23,94
Pd	7,95
Ag	5,62
Sn	18,42
Pb	6,19
Σ	100

Таблица 4

Элементный состав частиц

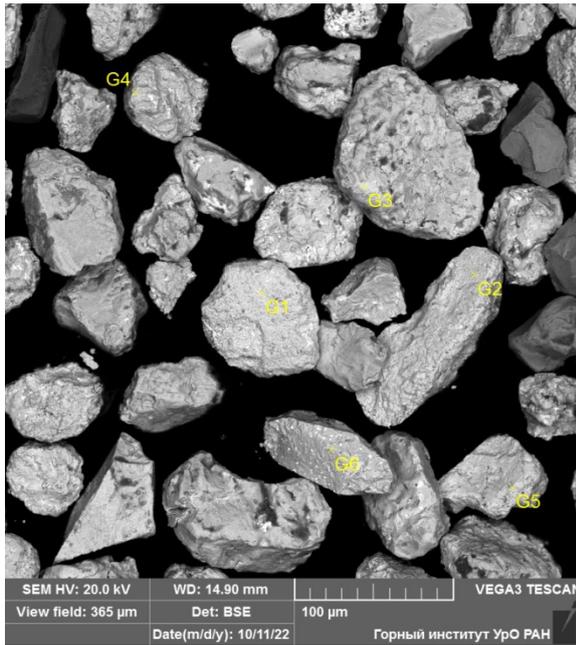


Рис. 5. Электронное фото. Немагнитная фракция концентрата. Фракция 0,045 мм. Поле зрения 365 мкм. Обособления Pd, Pt, Ag, Sn, Cu, Pb

Элементы	Содержания, %				
	G1	G2	G3	G4	G5
O	7,77	4,20	7,13	2,88	6,60
Al	-	-	-	-	0,27
Si	-	0,23	-	-	0,61
Fe	-	-	-	-	0,24
Ni	-	0,25	-	-	0,44
Cu	11,31	16,41	31,05	38,73	32,14
Pd	8,09	19,43	17,92	8,18	22,32
Ag	32,60	13,62	6,93	6,28	3,27
Sn	34,81	39,80	35,10	38,12	29,56
Pt	-	4,64	1,87	1,33	2,04
Pb	5,17	1,19	-	4,48	2,26
As	0,24	0,14	-	-	0,13
Σ	100	100	100	100	100

Полученные результаты коренным образом изменяют аппаратно-технологическую концепцию (схему) переработки шламов. Из процесса переработки исключается кислотно-сорбционная составляющая процесса, что сокращает процесс переработки и значительно удешевляет переработку шламов (кислотно-сорбционная часть составляет около 2/3 стоимости проекта). Отпадает стадия обессаливания шламов, поскольку содержание хлоридов регламентируется в количестве до 30%, а это содержание свойственно складированным шламам с глубины 2-3 метра. Исключается стадия гидроциклонирования из начала процесса и переносится в процесс переработки огарка. Линия гидроциклонирования 10, 7 и 5-и градусных гидроциклонов, каждый из которых состоит из основного и перечистного гидроциклонов, обеспечивает полную дешламацию измельченного огарка. Обогащение песков обеспечивает центробежный сепаратор (типа КПВ-1). Полученный предконцентрат Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb и Fe, Cr, Ni электромагнитной сепарацией разделяется на концентраты Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb и Fe, Cr, Ni. Шламы после дешламации измельченных огарков и хвосты после обогащения песков смешиваются, гранулируются, спекаются и могут быть использованы в качестве комплексных удобрений для сельского хозяйства.

Результаты исследований позволили разработать принципиальную аппаратно-технологическую схему переработки складированных флотационных шламов по новой технологии (рис. 6)

Переход на новый способ (технология) переработки шламов осуществлялся путем изменения параметров обжига и в первую очередь температуры обжига и времени обжига. Были проведены опыты по обжигу шламов при температурах до 1000°C, при которых происходят фазовые превращения минерального вещества шлама. При температуре более 800°C галит и сильвин, содержащиеся в шламе плавятся (температура плавления галита и сильвина 799 и 801°C. Происходит разрушение части минералов – полевого шпата, сульфатов кальция, в том числе и хлоридов. Максимум преобразования, при котором сохраняется минеральная составляющая обжигаемого шлама, наступает

при температуре 1000°C. После обжига при этой температуре в составе обжигаемого шлама из матричных минералов в основном содержится пироксен (новообразованный минерал), кварц и КПШ. При определении температуры обжига технологической пробы был выбран режим 850-950°C, при котором сохраняется 10-15% хлоридов, участвующих в преобразовании органических соединений Pd, Pt, Ag в интерметаллиды. При температурах обжига выше 1000°C обжигаемый материал превращается в аморфное вещество. Обжиг при выбранных режимах был произведен и, как уже было показано выше, при переработке огарка были получены интерметаллиды, пригодные для аффинажа. Обжиг пробы ЗБ УЛТП-4 был произведен в «промышленных» условиях на экспериментальной печи (на базе ВНИИХТ, рис. 7, 8). Далее огарок перерабатывался в условиях стационара «ГИ УрО РАН».

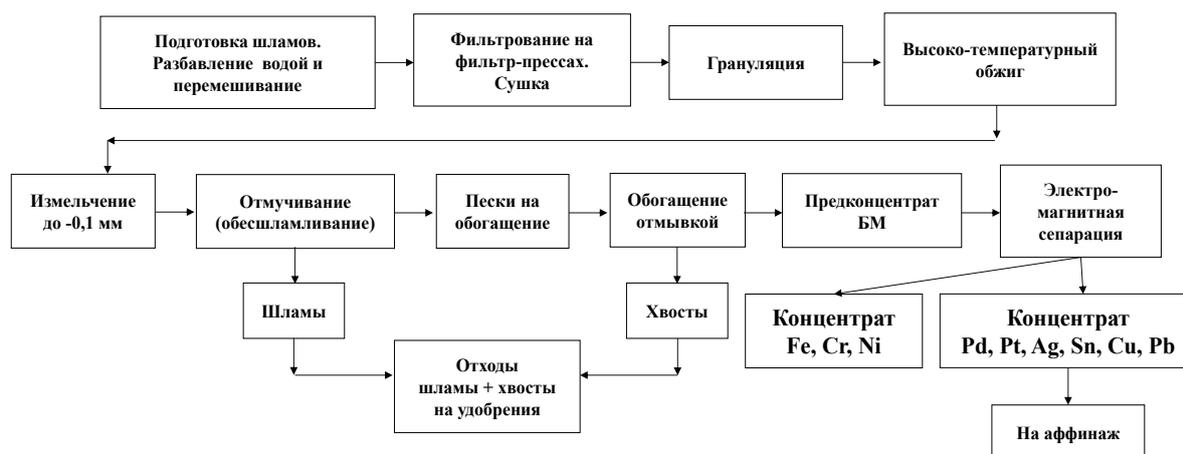


Рис. 6. Принципиальная аппаратно-технологическая схема переработки складированных флотационных шламов



Рис. 7. Трубочатая вращающаяся печь

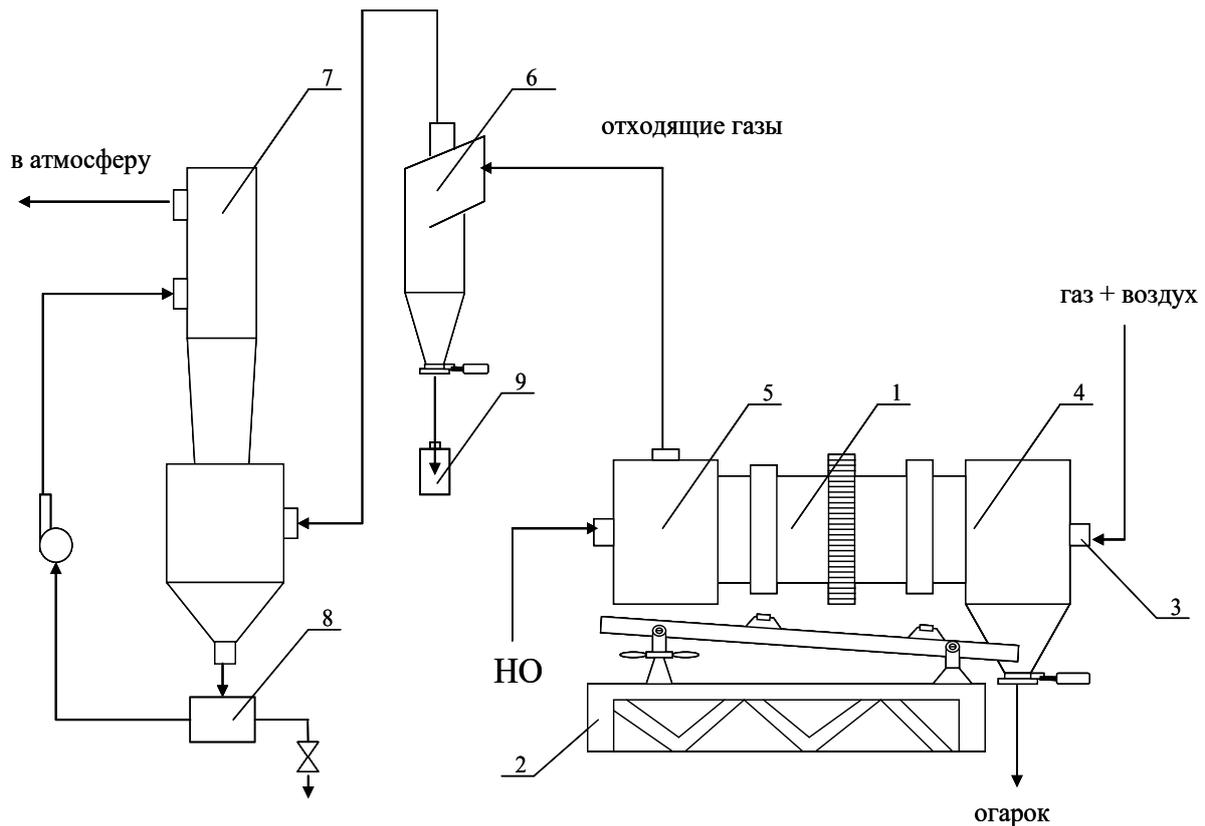


Рис. 8. Схема опытной установки по обжигу Н.О. 1 – печь; 2 – рама; 3 – газовая горелка; 4 – горячая камера; 5 – холодная камера; 6 – циклон; 7 – скруббер; 8 – зумпф; 9 – контейнер для пыли

Как видно из представленного материала, главным аппаратом в технологии переработки шламов способом высокотемпературного окислительно-восстановительного обжига является вращающаяся прокаточная печь, работающая на природном газе.

Экспериментальная печь производительностью 5-10 кг/час по огарку занимает достаточно много места и работает в «обвязке» с большим количеством вспомогательного оборудования. То есть, это достаточно большое автономное помещение с высоким уровнем опасности. В условиях стационара «ГИ УрО РАН» такие условия не могут быть достигнуты. Весь подготовительный цикл работ по «технологическим» пробам, включающий перемешивание проб, сушку до 14-15% влажности, грануляцию, досушивание гранул до влажности 0,5-1,5%, годных в этом качестве для обжига, готовились в условиях стационара. В частности, пробы ЗБ-УЛТП-1, 2, 3, 4 общим объемом исходного шлама 1400 кг проходили весь указанный выше цикл в условиях стационара «ГИ УрО РАН». Готовый гранулированный материал отправлялся во ВНИИХТ для обжига в экспериментальной прокаточной печи. Готовый огарок переправлялся в стационар, где проходил обогатительный передел. Как уже было показано выше, работа велась с навесками 1, 3, 6 кг для аналитических и обогатительных исследований. Навеска пробы в 6 кг проходила стадию обогащения, включающую дешламацию, отмывку песков, выделение предконцентрата и его электромагнитную сепарацию. Основная часть материала пробы готова к проведению балансового опыта с целью разработки исходных данных для проектирования опытной фабрики. Далее следовала стадия исследований по опробованию разреза шламохранилища на глубину 16 метров с целью прогнозирования запасов во всем объеме шламохранилища.

Опробование велось шнековым бурением с понтона метровыми интервалами. В разрезе получилось 16 проб, каждая из которых имела объем в 8-9 кг. Пробы, в силу такого объема, не могут обжигаться во вращающейся прокалочной печи, поскольку материал пробы просто «размажется» в объеме печи.

Поэтому был разработан комплекс приемов и переделов, позволяющий провести обжиг в муфельной печи. Комплекс включает следующие стадии:

1) сушка пробы в сушильном шкафу (каждая в отдельном противне до влажности 14-15%);

2) грануляция каждой пробы отдельно;

3) сушка гранул до влажности 0,5-1,5%.

Готовые гранулы складываются в отдельные емкости. Далее поочередно отбираются навески гранул по 500-800 г. и обжигаются в муфельной печи в специальном противне.

Обжиг во вращающейся прокалочной печи обеспечивает т. н. «гранулярную конвекцию» в сыпучих средах, подвергающихся высокотемпературному обжигу природным газом, которая обеспечивается вращением прокалочной печи, способствуя перемешиванию гранул и их равномерному нагреву с принудительным поступлением воздуха для окисления материала пробы.

Муфельная печь характеризуется статическим положением обжигаемого материала, отсутствием конвекции и неравномерностью нагрева. Чтобы ликвидировать эти недостатки, прежде всего обеспечивался доступ воздуха в печь путем введения воздуховода в отверстие в дверце печи. Подача воздуха через воздуховод обеспечивалась компрессором аквариумного типа с производительностью 55 л/мин.

Навеска гранул помещалась в противень из листового железа и выкладывалась на под муфельной печи. Подача воздуха обеспечивала частичную конвекцию и окислительный эффект. Оптимальные параметры обжига гранулированных шламов были отработаны с удовлетворительными результатами. Для обжига материалов (минеральных образований), содержащих органические соединения БМ в разной минеральной матрице и с разными ассоциациями элементов-примесей, параметры обжига дорабатывались экспериментально.

Углеродистые сланцы месторождения Сухой Лог

Изучение состава руд месторождения Сухой Лог (вмещающие породы углеродистые сланцы) показало присутствие органического вещества сапропелевого типа аналогичного ОВ глинисто-солевых отходов (шламов). Содержание ОВ на порядок меньше, чем в нерастворимых остатках соляных пород ВКМС, и вдобавок оно сильно метаморфизовано.

Исследования проведены на технологической пробе. Вес пробы 198,4 кг. Проба представлена углеродистыми сланцами с прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией. Содержание золота (по паспорту) 2,5 г/т.

Перед обжигом в пробу добавлялось 30% хлорида натрия и 3% бентонита как связующего вещества. Далее материал пробы проходил стадию грануляции. Гранулы высушивались до 2-3% влажности, после чего гранулы обжигались в муфельной печи при температуре более 800°C. Полученный продукт (огарок) проходил стадию дробления и далее истирался до крупности 0,045 мм. Затем истертый материал подвергался дешламации с выходом шламов и песков. Выход песков составлял 7%. Далее производилась отмывка песков и получение концентрата, затем – магнитная сепарация с выходом магнитной и немагнитной фракций.

На слайдах последовательно представлены материал немагнитной фракции, нанесенный на двусторонний скотч, наклеенный на подложку и после напыления исследованный под микронзондом (рис. 10).

На последующих слайдах сделаны электронные микрофото отдельных обособлений золота (рис. 11-15) и их микронзондовый анализ (табл. 5). Обращает внимание высокая чистота техногенных самородков, сравнимая с аффинажным золотом.

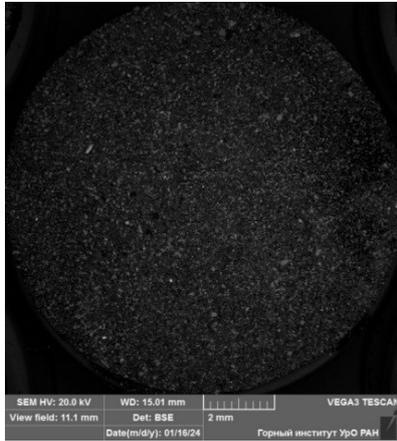


Рис. 10. Электронное фото концентрата. Немагнитная фракция



Рис. 11. Электронное фото. Обособление 1

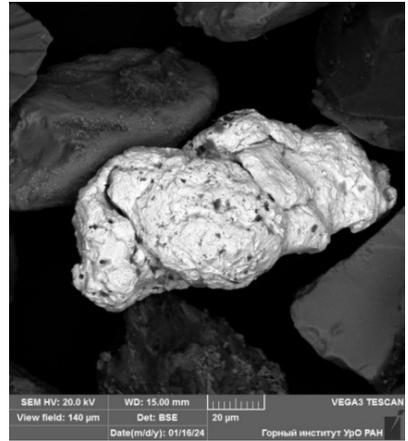


Рис. 12. Электронное фото. Обособление 2



Рис. 13. Электронное фото. Обособление 3

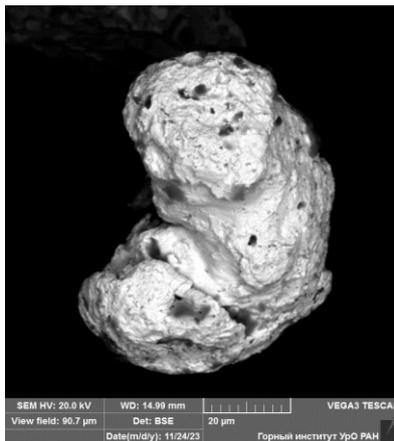


Рис. 14. Электронное фото. Обособление 4

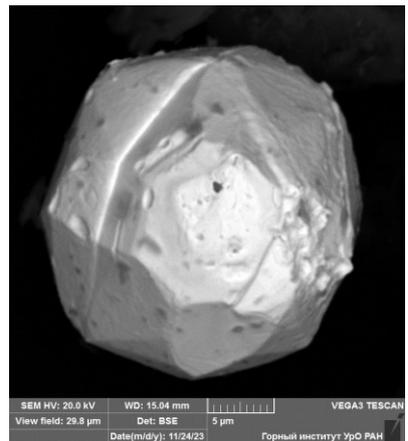


Рис. 15. Электронное фото. Обособление 5

Таблица 5

Элементный анализ обособлений золота

Элемент	Содержания в пробе, вес. %				
	Обособление 1	Обособление 2	Обособление 3	Обособление 4	Обособление 5
O	-	3,21	-	4,09	2,54
Ag	-	5,88	2,18	-	-
Au	100	90,92	97,82	95,91	97,46

Обсуждение результатов

Результаты исследований свидетельствуют, что преобразование органического вещества в нерастворимых остатках соляных пород ВКМС, которые после переработки К-Mg руд концентрируются в шламах, и в углеродистых сланцах месторождения Сухой Лог происходит при воздействии высокотемпературного обжига (800-900°C). В обоих объектах это ОВ сапропелевого типа, представленное битумоидами. Содержание хлороформенного битумоида в углеродистых сланцах на порядок меньше содержания ХБА в Н.О. соляных пород ВКМС. Состав и распределение битумоидов свидетельствуют о морском генезисе ОВ, сформированного за счет продуцентов планктона и бентоса.

Установлено, что углеродистые сланцы «Сухого лога» имеют более высокую термическую зрелость ОВ по сравнению с ОВ соляных пород Верхнекамского месторождения.

Второй составляющей процесса преобразования ОВ является присутствие хлоридов, обеспечивающих осуществление процесса преобразования вещества. В шламах присутствуют остаточные хлориды, а в углеродистых сланцах перед обжигом хлориды подшихтовываются. Далее следует высокотемпературный обжиг, параметры которого в обоих случаях отличаются незначительно.

В продуктах обжига шламов (огарках) образуются интерметаллиды сложного состава, в продуктах обжига углеродистых сланцев чистое золото. В Н.О. соляных пород все халькофильные элементы находятся в соединениях, принадлежность которых к сульфидам подтверждается только стехиометрией, а окристаллизованные формы отсутствуют, за исключением эпигенетических образований. После отжига таких соединений в хлоридный расплав переходят свободные металлы. Кроме того, в шламах присутствуют олово, медь, свинец и редкие земли, которые обнаруживают геохимическое родство с палладием, платиной и серебром. То есть, в процессе обжига шламов в силу геохимического родства в процессе собирательной кристаллизации формируются интерметаллиды Pd, Pt, Ag, Cu, Sn, Pb. В углеродистых сланцах Cu, Sn, Pb в значимых количествах отсутствуют. Золото не обнаруживает геохимическое родство с халькофильными элементами как в Н.О. соляных пород, так и в углеродистых сланцах.

Поэтому в углеродистых сланцах невозможно образование интерметаллидов золота, хотя халькофильные элементы в меньших количествах, чем в шламах, есть. В то же время как в шламах, так и в углеродистых сланцах, в процессе обжига формируются монометаллические образования редкоземельных элементов. Золото же стоит особняком, и отсутствие геохимического родства с халькофильными элементами не позволяет образовывать совместные выделения.

Выводы

Органическое вещество в нерастворимых остатках соляных пород и в углеродистых сланцах содержит связанные с ним соединения благородных металлов, которые после обжига в хлоридной среде преобразуются в интерметаллиды (в шламах) и в обособления золота высокой чистоты в углеродистых сланцах месторождения Сухой Лог.

Высокие содержания Pd, Pt, Ag в складированных флотационных шламах позволяют прогнозировать большие запасы этих металлов в шламохранилищах.

Новая технология переработки углеродистых сланцев может обосновать пересчет запасов месторождения Сухой Лог и получить в качестве конечного продукта золото в виде металла высокой степени чистоты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сметанников А.Ф., Синегрибов В.Н., Юдина Т.Б., Седых Э.М. Извлечение благородных металлов из глинисто-солевых отходов калийных предприятий Верхнекамья // Химическая технология. – 2004. – № 1. – С. 26, 27.
2. Способ извлечения благородных металлов: пат. № 2386710 Рос. Федерация: МПК С 22 В 11/00 (2006.01) / Синегрибов В.А., Сметанников А.Ф., Юдина Т.Б., Новиков П.Ю., Логвиненко И.А., Красноштейн А.Е.; патентообладатель ЗАО «Уралкалий-Технология». – № 2008138812/02. заявл. 29.09.2008; опубл. 20.04.2010.
3. Сметанников А.Ф. Минералогия солей и благородных металлов Верхнекамского месторождения: автореф. дис. ... д.г-м.н. 25.00.05 / Сметанников Андрей Филиппович. – Сыктывкар, 2012. – 40 с.
4. Сметанников А.Ф., Оносов Д.В., Синегрибов В.А., Новиков П.Ю., Шанина С.Н. Благородные металлы в солях Верхнекамского месторождения и технология их извлечения // Горн. журн. – 2013. – № 6. – С. 55-58.
5. Сметанников А.Ф., Косолапова А.И., Корляков К.Н., Оносов Д.В., Фомин Д.С., Ямалтдинова В.Р., Шишков Д.Г., Оносова Е.Ф. Концепция использования комплексных удобрений пролонгированного действия на основе отходов переработки калийно-магниевых руд, как новой парадигмы в улучшении плодородия почв // Бюллетень почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2019. – Вып. 100. – С. 133-158. – DOI: 10.19047/0136-1694-2019-100-133-158.
6. Шишков Д.Г., Корляков К.Н., Васбиева М.Т., Цёма Л.Г., Сметанников А.Ф., Ямалтдинова В.Р. Использование продукта переработки К-МГ руд как комплексной мелиорирующей добавки на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве в Предуралье // Вестн. Перм. фед. исслед. центра. – 2022. – № 4. – С. 26-34. – DOI: 10.7242/2658-705X/2022.4.3.
7. Способ извлечения палладия, платины, серебра из отходов переработки калийно-магниевых руд: пат. 2770546 Рос. Федерация: МПК С22В 11/06 (2006.01) / Сметанников А.Ф., Оносов Д.В., Оносова Е.Ф., Сметанников А.Ф.; заявитель и патентообладатель ООО «Горно-технологическая корпорация Западный Урал». – № 2021116441; заявл. 07.06.21; опубл. 18.04.22, Бюл. № 11.
8. Оносов Д.В., Сметанников А.Ф. О возможности использования вторичных отходов из складированных флотационных шламов после извлечения из них Pd, Pt, Ag, в качестве комплексных удобрений // Горное эхо. – 2023. – № 3 (92). – С. 48-52. – DOI: 10.7242/echo.2023.3.5.