

УДК 553.411

**Т.Н. Александрова, И.Ю. Рассказов, Н.В. Бердников,
А.В. Сорочинская**

БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ГРАФИТОВЫХ СЛАНЦАХ СУТЫРСКОЙ ТОЛЩИ И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ИХ ИЗВЛЕЧЕНИЯ

Приведены результаты исследований по обогатимости графитосодержащих сланцев Буреинского массива и показана их перспективность как нетрадиционного источника благородных металлов и особенно металлов платиновой группы. Ключевые слова: графитосодержащие сланцы, металлы благородной группы, гравитация, флотация.

Семинар № 10

В последние годы интерес ученых и горнодобывающих компаний к благороднометалльным месторождениям в черносланцевых толщах все возрастает¹. Одновременно по мере накопления информации становится очевидной специфичность рассматриваемого оруднения, что послужило основанием его выделения в самостоятельную «черносланцевую» или «углеродистую» формацию. Практически во всех золоторудных месторождениях черносланцевой формации в качестве сопутствующих обнаружены металлы платиновой группы (МПГ) в количестве 1-8 г/т и более рентабельных (в принципе, для промышленной добычи, главным образом попутно с золотом). Это не только платина, но и палладий, иридий, осмий, рутений и родий [1]. Можно утверждать, что присутствие в значительных количествах МПГ - типоморфная особенность данных месторождений, подтверждающая не толь-

ко обоснованность их выделения в качестве самостоятельной «черносланцевой золото-платиноидной формации», но и существенно увеличивающая их практическую значимость и рентабельность освоения, особенно в ближайшей перспективе. Черные сланцы в настоящее время рассматриваются в качестве нового перспективного и нетрадиционного источника платинометалльного сырья. Вместе с тем, как справедливо отмечает ряд авторов, степень их изученности пока фрагментарна [2, 3].

Вопросы условий формирования черносланцевых рудоносных толщ и особенно генезиса развитого в них оруденения относятся к разряду остродискуссионных в связи с недостаточной изученностью. До сих пор нет единого мнения о формах нахождения золота и МПГ и выбора методов определения его реальной концентрации в окислах и гидроокислах железа, минералах глин, слюдах, хлоритах, алуните, кварце-халцедоне, ярозите, некоторых других минералах-носителях, а также в углисто-битумных включениях в сланцах.

¹ Исследования по выявлению благороднометалльной минерализации высокоуглеродистых пород выполнялись под руководством академика А.И. Ханчука.

При неофициальном общении опытных геологов и в отчетах внутреннего пользования используется термин «скрытое золото», под которым понимают ту его часть, которая может быть обнаружена в некоторых монофракциях руды, выделенных по гранулометрическому или вещественному составу при использовании многоступенчатых схем пробоподготовки и сложном реагентном режиме обработки.

Но поскольку такие методы анализа и тестирования руд не признаются в настоящее время ни государственными ведомствами, ни руководством крупных горнодобывающих компаний (по крайней мере, официально), то при подсчете и учете движения запасов оценивается только та часть золота, которая определяется при стандартизированных методах пробоподготовки и проведения аналитических работ.

Понятие «дисперсное золото и платина» является одним из самых неопределенных в геологической и технологической теории и практике. Под этим термином часто понимают и атомарно-кластерный уровень рассеяния золота в минеральном веществе, и его микровыделения (от 10 мкм до сотых долей микрона), сорбированные золото и платина в минералах глин, слюдах, хлоритах в углесто-битумных образованиях, металлоорганические соединения. При этом в большинстве публикуемых научных работ и отчетов не оговариваются ни конкретные размеры, ни формы выделения золота, а эти термины по существу используются как синонимы дисперсного золота в целом.

Выбор рациональной технологии извлечения металлов благородной группы (МБГ) из углеродсодержащих руд определяется тремя основными факторами: абсолютным содержа-

ем и сорбционной активностью свободного углерода; характеристикой присутствующих МБГ, в частности, крупностью и ассоциированностью с рудными и породообразующими минералами; наличием металлоносных сульфидов (пирит, арсенопирит, халькопирит и др.). Обобщая известный опыт, можно сделать вывод, что в зависимости от перечисленных факторов, переработка углеродсодержащих руд осуществляется по различным технологическим схемам: флотация руды, окислительный обжиг концентрата, цианирование огарка (Аристон, Гана); флотация руды, плавка концентрата на медеплавильных заводах (Кидд Крик, Канада; Саралинская фабрика, Россия); флотация руды, цианирование концентрата в специальном режиме (ЗИФ им Матросова, Россия и др.) [4].

Определяющим аргументом, подтверждающим реальность наличия в руде сложных (скрытых) форм дисперсного золота и МПГ, очевидно, является разработка эффективных методов полноценного перевода их в раствор или расплав. В ЮАР (основной производитель МПГ за рубежом) принята схема обогащения, включающая дробильно-измельчительный цикл и обогатительные операции - гравитацию и флотацию. Полученные концентраты направляют на плавку. Первоначально при разработке окисленных участков месторождений МПГ в ЮАР в качестве основной обогатительной операции использовали гравитацию; в настоящее время по мере углубления зоны добычи МПГ используют флотационные методы [5]. Основным объектом исследования являлись углеродистые сланцы на левобережье р. Сутырь правого притока р. Тырма (Верхнебуреинский район). Основная цель исследования: минералого-петрографические, техно-

гическое исследование графитизированных сланцев для обоснования методов обогащения и выявления возможности извлечения благородных металлов гравитационными и флотационными методами.

Основными свойствами графитизированных пород, используемыми при обогащении руд, являются их малая смачиваемость (высокая гидрофобность и флотрируемость), трудная измельчаемость, химическая устойчивость графита при невысоких температурах и термическая устойчивость в восстановительной среде. При анализе технологий переработки основных видов неметаллов сотрудниками ЦНИИгеолнеруда, в частности, для графита приводятся в качестве традиционных способов обогащения – флотация, химическое обогащение; в качестве новых способов – обогащение по форме частиц и флотация; как перспективные способы – химическая и термическая обработка, комбинированный способ обогащения, виброизмельчение.

На лабораторные технологические исследования поступила неравномернообломочная (50x70–300x400 мм) проба общим весом 100 кг. Макроскопически проба разделена на 3 части: слабо измененные биотит мусковит-графит-кварцевые филлитовидные сланцы – 53,6 кг; интенсивно измененные биотит мусковит-графит-кварцевые и эпидот-хлорит-кварцевые филлитовидные сланцы – 35,6 кг; роговики (контактовые метасоматиты) – 10,8 кг. Дальнейшее изучение прозрачных шлифов изготовленных для каждой группы (с использованием поляризационного микроскопа Axsiplan-2) (минералог – старший инженер Щербак Л.И.) подтвердило макроскопическое деление пробы и позволило составить нижеследующее петрогра-

фическое описание. Преобладающие в составе пробы слабоизмененные и неизмененные биотитмусковит графит-кварцевые сланцы характеризуются плейчато-сланцеватой текстурой и лепидогранобластовой структурой. Основные породообразующие минералы: графит 10–20 %, биотит мусковит – 20–30 %, кварц – 50–70 %. Рудные минералы – пирит и магнетит в сумме – 1–2 % и менее. Аксессуары: циркон, апатит, рутил, ортит. Филлитовидные сланцы обладают тонкозернистым сложением: размер чешуй биотита, мусковита реже серицита – 0,01–0,05 мм, бластов кварца – 0,05–0,1 мм. Графит представлен тонкой вкрапленностью редко изометрическими чешуйками и землистыми агрегатами, нередко распылен во всех породообразующих минералах, особенно в слюдах.

Иногда в ядрах микроскладок филлитовидных биотит мусковит-графит-кварцевых сланцев наблюдаются кварцевые обособления. Кварц полигональный реже нечетко зубчатый, размеры кристаллобластов – 0,1–0,2 мм. Во вторую группу в составе пробы выделены филлитовидные сланцы претерпевшие значительные динамометаморфические и рудно-метасоматические изменения. В третью группу выделены породы метаморфизованные в различной степени, но на заключительном этапе претерпевшие контактово-метасоматические изменения (орговикование): кварциты, углеродосодержащие с гранатами, турмалином, биотит-кварцевые и биотит-турмалин-графит-кварцевые метасоматиты.

Таким образом, общей особенностью пород технологической пробы является наличие графита, представленного тонкой вкрапленностью и землистыми агрегатами.

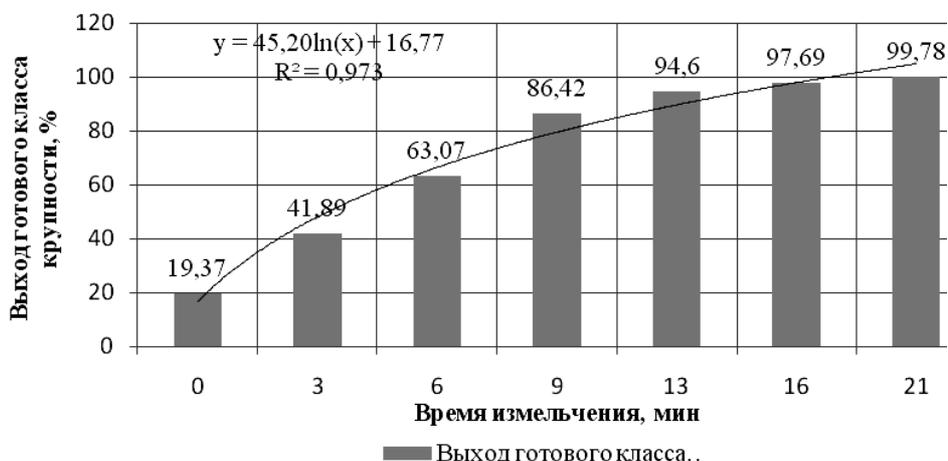


Рис. 1. Кинетика измельчения готового класса крупности

С целью установления связи благородных металлов с графитом либо с рудной минерализацией, развитой в породах второй группы (рудно-метасоматических образованиях), дальнейшее изучение рекомендуется по трем группам отдельно. Последовательность динамометаморфических и рудно-метасоматических изменений в породах технологической пробы на данном этапе её изученности представляется в следующем виде: региональный метаморфизм: биотит (мусковит хлорит)-графит-кварцевые филлитовидные сланцы, локальный диафторез: хлорит – эпидот –графит-кварцевые филлитовидные сланцы, мусковит-кварцевые метасоматиты, кварцево-рудная минерализация, ороговикование.

Существенное значение при переработке углистых и графитизированных пород гидрометаллургическим методом имеет выбор оптимальной степени измельчения материала.

На рис. 1 показан выход готового класса крупности (– 0,15+0 мм) в зависимости от времени измельчения.

Обоснована и реализована мультистадийная схема измельчения и определено оптимальное время, которое составляет 21 минуту.

В классе – 0,2 + 0,071 мм минералогическим анализом выявлено наличие зерен самородной платины в немагнитной фракции и знаки золота в магнитной фракции, что позволяет предположить сульфидный парагенезис золота и углеродистую минерализацию платины.

Технологические исследования проводились по нескольким направлениям: мультистадийное гравитационно-флотационное обогащение: на первой стадии отсадка материала с доводкой подрешеточного продукта на концентрационном столе по классам крупности; на второй стадии хвосты отсадки и 1,0+2,0 верхние слои камерного надрешетного продукта после доизмельчения (–1,0–0,0) поступают на третью стадию отсадки с доводкой подрешеточного продукта на концентрационном столе, хвосты отсадки и 1+2 верхние слои камерного надрешетного продукта доизмельча-

ются ($-0,5-0,0$) и концентрируются на центробежном концентраторе Knelson (KN) с доводкой концентратов и хвостов центробежной концентрации на столе. Хвосты центробежной концентрации и хвосты гравитации доизмельчаются в замкнутом цикле до $-0,2 + 0,0$ и подвергаются сравнительному обогащению: половина пробы обесшламливается в гидроциклоне и пески подаются на флотационное обогащение, половина пробы подвергается расшеву на классы с последующей доводкой класса $-0,2 + 0,071$ на концентрационном столе. Класс $-0,071 + 0,0$ подвергался концентрации на KN с контрольной концентрацией хвостов и доводкой концентратов на концентрационном столе. Результаты отсадки данного класса крупности и баланс металлов при отсадке – в табл. 1, 2. Флотационное обогащение измельченного материала с использованием различных реагентов (в технологических исследованиях принимали участие сотрудники лаборатории процессов извлечения из руд и россыпей Института горного дела ДВО РАН).

Общее содержание благородных металлов, выделенных при минерало-

гическом просмотре продуктов обогащения, показано в табл. 2.

Таким образом, при обогащении отсадкой класса $-2+0$ мм из подрешетного продукта после концентрации его на столе содержание благородных металлов в пересчете на массу класса составило $0,335$ мг/т платины и $545,94$ мг/т золота. Поскольку весь металл выделен из подрешетного продукта крупностью $-0,1$ мм, наработанного в процессе отсадки, можно предполагать незначительное разрушение и оттирку углистых, цементирующих масс, содержащих тонкое золото и платину. Схема графитовой флотации приведена на рис. 2, результаты на рис. 3 и в табл. 3.

По результатам эксперимента, выход «графитового» концентрата (по режиму 13) составил $7,26$ % с содержанием платины 139 г/т.

Таким образом, гравитационно-флотационными методами извлекается самородная форма золота и платины. Золото находится в самородной форме и частично ассоциировано с сульфидами, платина находится как в самородном виде (извлекается гравитацией), так и в своих биофильных формах извлекается в графитовый концентрат.

Таблица 1

Результаты обогащения материала крупностью $-2,0+0,0$ мм по гравитационной схеме (отсадка-стол)

Наименование продуктов	Выход, %	Масса извлеченного металла, мг		Характеристика
		платина	золото	
Хвосты отсадки	58,53	н/о	н/о	
Надрешетный продукт	13,9	н/о	н/о	Просмотр под биноклем, отбор материала на спектральный и химический анализы
Подрешетный продукт	27,36	0,014-2зн-0,1мм	22,842 81зн-менее 0,05 мкм	Концентрация на столе
Итого класс	100,0	0,014	22,82	

Таблица 2

Содержание благородных металлов в подрешетных продуктах отсадки

№ пробы	Наименование продукта	Содержание элементов				
		Минералогический анализ, зн		Рентгенофлуоресцентный анализ, г/т		
		Au	Pt	Au	Pt	Pd
1	Исходная проба (общая)	–	–	–	–	239
2	Исходная проба (общая), класс –0,2+0,071 мм, немагнитная фракция (нмф)	–	3*	–	–	–
3	Исходная проба (общая) магнитная фракция (мф)	4	–	–	–	–
4	Класс –2,0+0,0 мм концентрат стола Класс –0,5+0,2 мм, легкая фракция	–	–	–	31	
5	Класс –2,0+0,0 мм, концентрат стола Класс –0,5+0,2 мм, мф	–	–	–	–	11
6	Класс –2,0+0,0 мм, концентрат стола –0,2+0,0 м/фракция	1	8*	–	–	19
7	Класс –2,0+0,0мм, концентрат стола –0,5+0,2 нмф	1	–	892	–	–
8	Концентрат стола (–0,5+0,2; мф)	1	1	–	–	–
9	Концентрат стола(–0,2+0,0 нмф)	9	–	–	–	–
10	Головка стола (–0,2+0,0 нмф)	–	2	–	–	–
11	Класс –1,0+0,5мм, концентрат стола (электромагнитная (эмф) +нмф)	25	–	–	–	–
12	Класс –1,0+0,5 мм, головка стола; мФ	23	–	–	–	–
13	Класс –1,0+0,5 мм, головка стола; нмф	–	2	–	–	–
14	Класс –1,0+0,5мм; головка стола; нмф	1	1	–	–	–
15	Головка стола –0,5+0,2 мф	–	–	6	93	–
16	Головка стола –0,5+0,2 эмф	–	–	7	–	–
17	Головка стола –0,5+0,2 нмф	–	–	–	363	–
18	Головка стола –0,2+0,0 нмф; Ag–5 зн –0,0016 г/т	1	–	–	94	–
19	Головка стола –0,2+0,0 нмф; Ag–5 зн –0,0025 г/т	1	–	–	–	1199
	Итого	101 зн	18 зн			

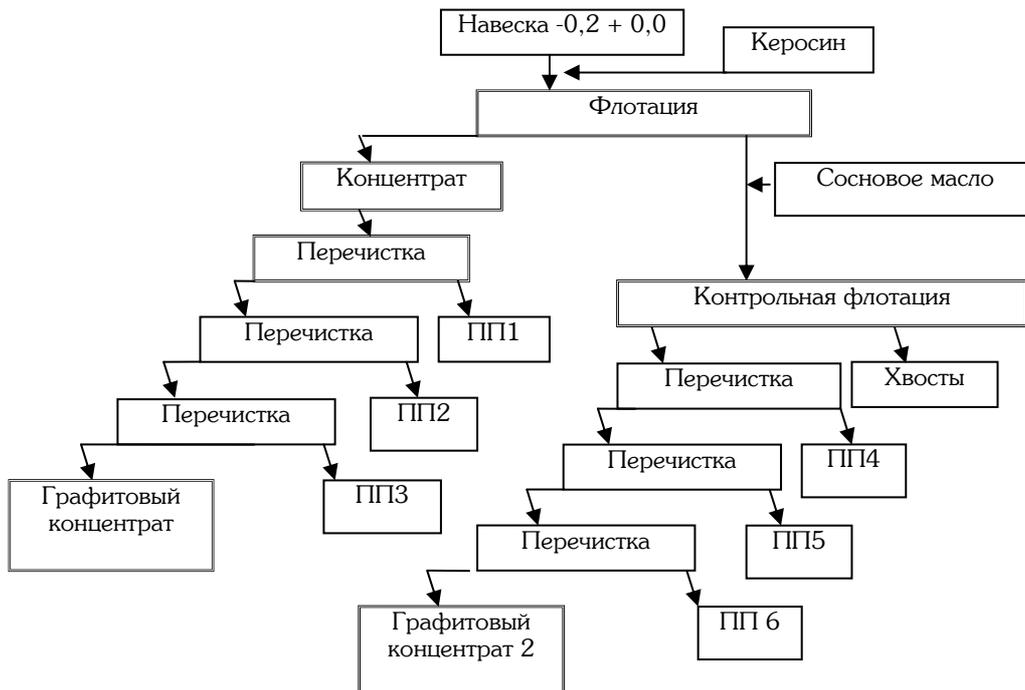


Рис. 2. Схема флотации графитовых сланцев (ПП – промпродукт флотации)

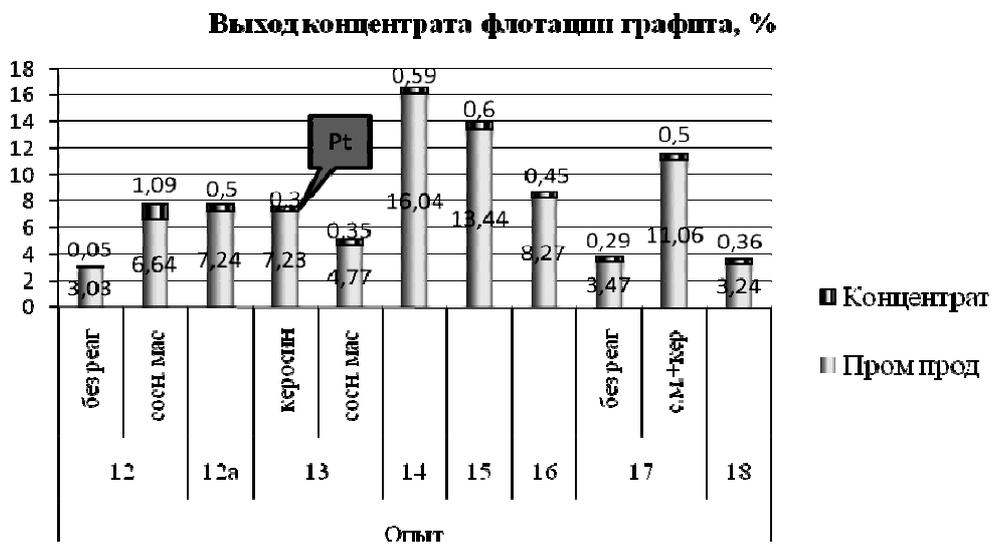


Рис. 3 Флотация графита. Общая исходная проба: 12 – стадия без реагентов, контрольная флотация с сосновым маслом; 13 – 1 стадия с керосином (3 перечистки), контрольная флотация с сосновым маслом; 14 – сосновое масло, керосин; 15 – сосновое масло, керосин; CaO. pH = 10; 16 – сосновое масло, керосин, H₂SO₄. pH = 4,7; 17 – 1 стадия без реагента. 2 стадия – керосин сосновое масло; 18 – сосновое масло, керосин, клей

Наши исследования обогатимости графитосодержащих сланцев Буреинского массива показали их перспек-

тивность как нетрадиционного источника благородных металлов и особенно металлов платиновой группы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буряк В.А., Михайлов Б.К., Цымбалюк Н.В. Генезис, закономерности размещения и перспективы золото- и платиноносности черносланцевых толщ, «Руды и металлы» № 6, 2002. – с.25–35.
2. Буряк В.А. Проблема генезиса черносланцевых толщ и развитого в них золотого, золото-платиноидного и прочих видов оруденения // Тихоокеанская геология. 2000. – Т. 19. – № 1. – С. 118–129.
3. Ханчук А.И., Иванов В.В. Геодинамика Востока России в мезокайнозое и золотое оруденение // Геодинамика и металлогения. Владивосток, 1999. – С. 5–30.
4. Подейшиков В.В. Техника и технология извлечения благородных металлов из руд за рубежом / Под ред. В.В. Подейшиков – М.: Металлургия, 1973. – 287 с.
5. Котляр Ю.А., Меретуков М.А., Стрижко Л.С. Металлургия благородных металлов: В 2-х кн. Кн. 2 / Ю.А. Котляр, М.А. Меретуков, Л.С. Стрижко – М.: МИСИС, Издательский дом «Руды и Металлы», 2005. – С. 225–230. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Александрова Т.Н. – доктор технических наук, заведующий лабораторией ИГД ДВО РАН, IGD@rambler.ru
Рассказов И.Ю. – доктор технических наук, директор ИГД ДВО РАН, adm@igd.khv.ru
Бердников Н.В. – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией ИТИГ ДВО РАН, nick@itig.as.khb.ru
Сорочинская А.В. – инженер ИГД ДВО РАН, annbot87@mail.ru



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)			
ХАКУЛОВ Виктор Алексеевич	Обоснование пошаговой адаптации комбинированной разработки Нагорного месторождения к меняющимся горно-технологическим условиям	25.00.22	д.т.н.

