

УДК [553.41:553.491:553.541]:550.84 (571.6)

А.И.ХАНЧУК, А.Н.ДИДЕНКО, И.Ю.РАССКАЗОВ, Н.В.БЕРДНИКОВ,  
Т.Н.АЛЕКСАНДРОВА

## Графитовые сланцы как перспективный источник благородных металлов на Дальнем Востоке России

*Методами гравитационного и флотационного обогащения, растровой электронной микроскопии с энергодисперсионным рентгеноспектральным микроанализатором изучены формы выделения золота и платиноидов в графитосодержащих породах сутырской толщи на востоке Буреинского массива (Дальний Восток России). Полученные данные позволяют предположить в них комплексное золотоплатиноидное оруденение, не изученное и не вовлеченное в промышленное освоение.*

*Ключевые слова: гравитационное и флотационное обогащение, графит, золото, платиноиды, микровключения, Дальний Восток России.*

**Graphite-bearing shales as a promising resource of precious metals in the Russian Far East.** A.I.KHANCHUK (Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok), A.N.DIDENKO (Institute of Tectonics and Geophysics, FEB RAS, Khabarovsk), I.Yu.RASSKAZOV (Mining Institute, FEB RAS, Khabarovsk), N.V.BERDNIKOV (Institute of Tectonics and Geophysics, FEB RAS, Khabarovsk), T.N.ALEXANDROVA (Mining Institute, FEB RAS, Khabarovsk).

*Outward looks of gold and PGE in graphite-bearing shales of Sutyr unit in the east of Bureya massif (the Far East of Russia) are studied using the methods of gravity and flotation concentration and scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray microanalysis. The obtained results allow us to suspect the presence of a complex Au-PGE mineralization there, which is not investigated yet, and not involved in industrial use.*

*Key words: gravity and flotation concentration, graphite, aurum, PGE, micro-inclusions, Far East of Russia.*

В последние годы возрастает интерес горнодобывающих компаний к месторождениям благородных металлов в черносланцевых толщах. По мере накопления информации становится очевидным специфичность рассматриваемого оруденения, что послужило основанием выделения его в самостоятельную черносланцевую, или углеродистую, формацию. Практически во всех золоторудных месторождениях подобного типа в качестве сопутствующих обнаружены металлы платиновой группы (МПГ) в количестве 1–8 г/т и более. Это не только платина, но и палладий, иридий, осмий, рутений и родий [2]. Можно утверждать, что присутствие в значительных количествах МПГ – типоморфная особенность данных месторождений, не только подтверждающая обоснованность их выделения в самостоятельную черносланцевую золотоплатиноидную формацию, но и существенно увеличивающая практическую значимость и рентабельность освоения месторождений. В настоящее время черные сланцы рассматриваются в качестве нового перспективного нетрадиционного источника платинометалльного сырья. Вместе с тем степень их изученности фрагментарна [3, 8].

ХАНЧУК Александр Иванович – академик, директор (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток); ДИДЕНКО Алексей Николаевич – доктор геолого-минералогических наук, директор, БЕРДНИКОВ Николай Викторович – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией (Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, Хабаровск); РАССКАЗОВ Игорь Юрьевич – доктор технических наук, директор, АЛЕКСАНДРОВА Татьяна Николаевна – доктор технических наук, заведующая лабораторией (Институт горного дела ДВО РАН, Хабаровск). E-mail: nick@itig.as.khb.ru

Условия формирования черносланцевых рудоносных толщ и генезис развитого в них оруденения спорны. До сих пор нет единого мнения о формах нахождения золота и МПГ в черных сланцах, отсутствуют сертифицированные методы определения их концентраций в высокоуглеродистых породах. Все это сдерживает работы по поиску и оценке потенциала благороднометалльного оруденения в черных сланцах.

На Дальнем Востоке России обстановка отложения черных сланцев изучена достаточно хорошо, все они приурочены к границам континент–океан [4]. Это рифей-палеозойские краевые фации чехла Сибирского кратона с повышенными содержаниями платиноидов [9], палеозой-нижнемезозойские отложения Южно-Верхоянской пассивной окраины кратона и турбидиты континентального склона. Последние вмещают крупное Наталкинское месторождение золота. Черные сланцы широко распространены в составе турбидитового матрикса мезозойских и кайнозойских террейнов аккреционных призм Сихотэ-Алиня, Монголо-Охотии, Северо-Востока России, Камчатки и Сахалина, образовавшихся в надсубдукционной геодинамической обстановке. Характерны они для отложений турбидитовых бассейнов, сформировавшихся в периоды скольжения океанической плиты вдоль континента. К этой обстановке, например, относится Журавлевско-Амурский террейн Сихотэ-Алиня.

Деформация, метаморфизм и внедрение гранитов в террейны аккреционных призм и турбидитовых бассейнов привели к формированию в черносланцевых толщах крупных кварц-сульфидных месторождений золота (Майское, Токур, Маломырское, Глухое и др.), на некоторых из них обнаружено присутствие элементов платиновой группы. В результате изучения руд Наталкинского месторождения установлено, что платина и палладий находятся в сульфидах [7].

На Буреинском массиве распространены рифей-кембрийские черные сланцы, которые отличаются аномально высоким содержанием углерода – до 20% и более. Часто они графитизированы до образования проявлений и месторождений графита, местами показывают высокое содержание платины [5]. Условия седиментогенеза графитовых сланцев изучены недостаточно, но, учитывая их ассоциацию с кремнистыми сланцами, железо-марганцевыми образованиями, можно предполагать, что это составные части аккреционной призмы, которые первоначально отлагались на внешней (океанической) стороне глубоководного желоба, где поток терригенного материала ослабевал и создавалась возможность для отложения органики.

## Объект и методы исследования

Объектом нашего исследования явились графитовые сланцы сутырской свиты, обнажающиеся на левобережье р. Сутырь – правого притока р. Тырма (Верхнебуреинский район Хабаровского края). Сутырская толща слагает протяженный (75 x 5 км) тектонический блок в зоне Хинганского глубинного разлома (рис. 1). В ее составе преобладают неравномерно метаморфизованные в зеленосланцевой фации углеродистые сланцы, филлиты, метаалевролиты с содержанием  $C_{орг}$  до 22 мас. %. Сланцы в различной степени сульфидизированы, иногда содержат сеть тонких кварцевых прожилков. Сульфиды (пирит, в меньшей мере пирротин, халькопирит, арсенопирит, ковелин, марказит) образуют мелкую (до 1 мм) вкрапленность, иногда – прожилки и линзочки размером до 0,5–2 см. Углеродистый материал представлен тонкодисперсным аморфным агрегатом и тонкими (0,001–0,03 мм) чешуйками графита. Полуколичественным спектральным анализом в породах свиты ранее диагностировались, г/т: золото (до 0,1), платина (до 0,04) и палладий (до 0,01).

Нами изучен разрез толщи в районе пересечения р. Сутырь с лесовозной дорогой (50°17'02,06" с.ш., 132°30'54,04" в.д.). Цель исследования – выяснение форм выделения благородных металлов в изучаемых породах, поиск методов их обогащения и извлечения. Для того чтобы охватить по возможности весь диапазон размерностей выделений

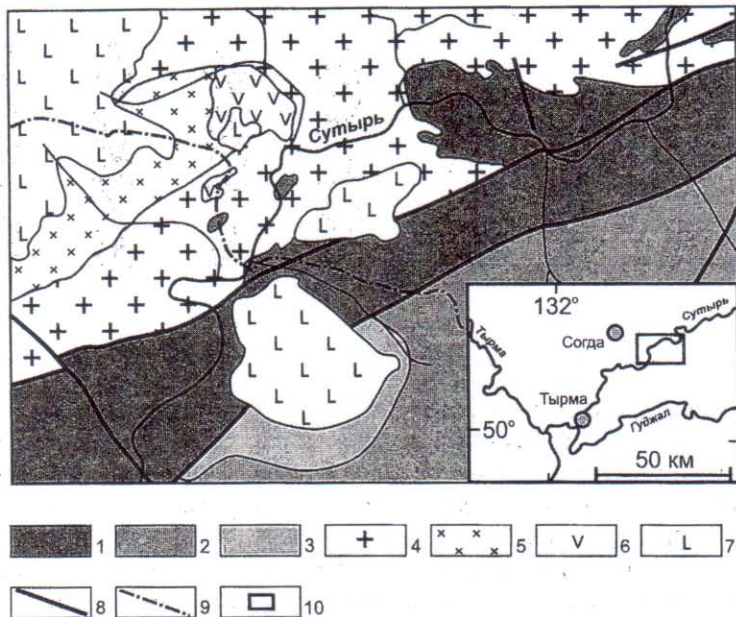


Рис. 1. Геологическая схема района работ. 1 – Сутырская толща (PR); 2 – Эпиканская свита ( $J_2$ ); 3 – Ургальская серия ( $J_3-K_1$ ); 4 – граниты Суларинского комплекса; 5, 6 – Тырмо-Бурейнский комплекс: 5 – граниты, гранодиориты, 6 – габбро, диориты; 7 – базальты Аякитской толщи ( $N_1$ ); 8 – разломы; 9 – лесовозная дорога; 10 – район работ (на врезке)

благородных металлов (от видимых зерен  $> 0,1$  мм до микро- и наноразмерных включений), нами применены оптические минералого-петрографические методы (микроскопы AxioPlan 2 Imaging, Discovery V.12 фирмы «Карл Цейс», Германия), технологические методы обогащения (отсадочная машина «ОМСК-2», концентрационный стол СКЛ-2 и концентрационный стол с размером деки  $97 \times 36$  см, центробежный концентратор Knelson (KN) КС-3, флотомашини ФМ-1М, ФМ-2М) и электронная сканирующая микроскопия с энергодисперсионным рентгеноспектральным микроанализом (микроскоп EVO 40HV фирмы «Карл Цейс», Германия, спектрометр INCA Energy 350 фирмы «Оксфорд», Великобритания).

### Обогащение и извлечение

Основные свойства графитизированных пород, используемые при обогащении руд, – их малая смачиваемость (высокая гидрофобность и флотуруемость), трудная измельчаемость, химическая устойчивость графита при невысоких температурах и термическая устойчивость в восстановительной среде. При анализе технологий переработки основных видов неметаллов сотрудниками ЦНИИгеолнатура, в частности для графита, в качестве традиционных способов обогащения приводятся флотация (выделение графита) и химическое обогащение, новых – обогащение по форме частиц и флотация, перспективных – химическая и термическая обработка, комбинированный способ обогащения, виброизмельчение.

Технологическим исследованиям подверглась неравномерно-обломочная (от  $50 \times 70$  до  $300 \times 400$  мм) проба графитовых сланцев общей массой 100 кг. Макроскопически проба была 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), ороговикованные сланцы (контактные метасоматиты) (10,8 кг). Общей особенностью пород пробы является наличие графита, представленного тонкой вкрапленностью и землистыми агрегатами.

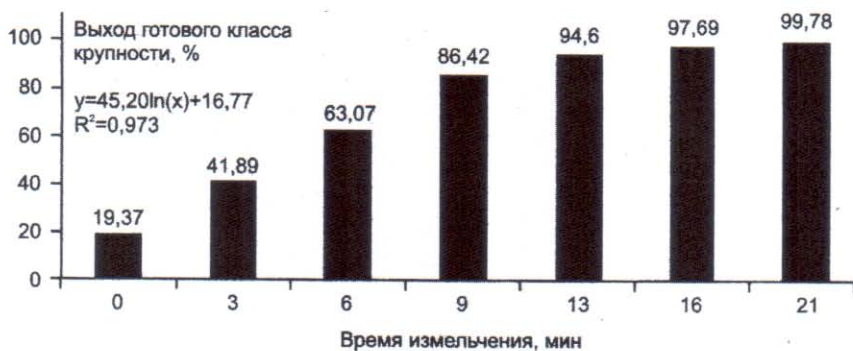


Рис. 2. Кинетика измельчения готового класса крупности

При переработке углистых и графитизированных пород гидromеталлургическим методом существенное значение имеет выбор оптимальной степени измельчения материала. Нами обоснована и реализована мультистадийная схема измельчения и определено оптимальное время – 21 мин. На рис. 2 показан выход готового класса крупности (-0,15+0,0 мм) в зависимости от времени измельчения.

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 связанную с углеродом минерализацию платины.

Технологические исследования проводились по нескольким направлениям. На первой стадии гравитационно-флотационного обогащения проходит отсадка материала с доводкой подрешетного продукта на концентрационном столе (КС) по классам крупности. Затем хвосты отсадки и два верхних слоя камерного надрешетного продукта после доизмельчения (-1,0-0,0 мм) поступают на следующую стадию отсадки с доводкой подрешетного продукта на КС. Хвосты отсадки и два верхних слоя камерного надрешетного продукта доизмельчаются (-0,5-0,0 мм) и концентрируются на КН с доводкой на столе. Хвосты центробежной концентрации и хвосты гравитации доизмельчаются в замкнутом цикле до -0,2+0,0 мм и подвергаются сравнительному обогащению: 0,5 пробы обесшламливаются в гидроциклоне, пески подаются на флотационное обогащение, 0,5 пробы подвергается расसेву на классы с последующей доводкой класса -0,2+0,071 мм на КС. Класс -0,071+0,0 мм подвергался концентрации на КН с контрольной обработкой хвостов и доводкой концентратов на КС. Результаты отсадки данного класса крупности и баланс металлов при отсадке показаны в табл. 1. Содержание благородных металлов, выделенных при минералогическом просмотре продуктов обогащения, приведено в табл. 2. Таким образом, при обогащении отсадкой класса -2,0+0,0 мм из подрешетного продукта после концентрации его на столе содержание благородных металлов в пересчете на массу класса составило 0,33 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 тонкие золото и платину.

Таблица 1

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

Продукт	Выход, %	Масса извлеченного металла, мг / количество и размер, мм	
		Pt	Au
Хвосты отсадки	58,53	0	0
Надрешетный продукт	13,9	0	0
Подрешетный продукт	27,36	2 зн 0,014–0,1 мм	22,842 / 81 зн < 0,05
Итого класс	99,79	0,014	22,82

Содержание благородных металлов в подрешетных продуктах отсадки

№ пробы	Продукт	Минералогический анализ, зн.		Рентгенофлуоресцентный анализ, г/т		
		Au	Pt	Au	Pt	Pd
1	Исходная проба	0	0	0	0	239
2	Исходная проба, -0,2+0,071 мм, нмф	0	3	0	0	0
3	Исходная проба, мф	4	0	0	0	0
4	Класс -2,0+0,0 мм, концентрат стола, -0,5+0,2 мм, лф	0	0	0	31	
5	Класс -2,0+0,0 мм, концентрат стола, -0,5+0,2 мм, мф	0	0	0	0	11
6	Класс -2,0+0,0 мм, концентрат стола, -0,2+0,0 мм, мф	1	8	0	0	19
7	Класс -2,0+0,0 мм, концентрат стола, -0,5+0,2 мм, нмф	1	0	892	0	0
8	Концентрат стола, -0,5+0,2 мм, мф	1	1	0	0	0
9	Концентрат стола, -0,2+0,0 мм, нмф	9	0	0	0	0
10	Головка стола, -0,2+0,0 мм, нмф	0	2	0	0	0
11	Класс -1,0+0,5мм, концентрат стола, эмф+нмф	25	0	0	0	0
12	Класс -1,0+0,5 мм, головка стола, мф	23	0	0	0	0
13	Класс -1,0+0,5 мм, головка стола, нмф	0	2	0	0	0
14	Класс -1,0+0,5 мм, головка стола, эмф	1	1	0	0	0
15	Головка стола, -0,5+0,2 мм, мф	0	0	6	93	0
16	Головка стола, -0,5+0,2 мм, эмф	0	0	7	0	0
17	Головка стола, -0,5+0,2 мм, нмф	0	0	0	363	0
18	Головка стола, -0,2+0,0 мм, нмф; Ag 5 зн, 0,0016 г/т	1	0	0	94	0
19	Головка стола, -0,2+0,0 мм, нмф; Ag 5 зн, 0,0025 г/т	1	0	0	0	1199

Примечание. Фракции: мф – магнитная, нмф – немагнитная, лф – легкая, эмф – электромагнитная. Рентгенофлуоресцентный анализ выполнен в ИГД ДВО РАН на приборе Mobilab X50, аналитик Р.В.Богомяков.

Схема «графитовой» флотации приведена на рис. 3, результаты обобщены на рис. 4. По результатам эксперимента выход «графитового» концентрата (по режиму 13) составил 7,26% с содержанием платины 139 г/т.

Таким образом, из сланцев сутырской толщи гравитационно-флотационными методами извлекаются золото и платина. Их содержание в пересчете на исходную пробу графитовых сланцев составляет 624 и 0,44 мг/т, соответственно. Золото представлено самородной формой и частично ассоциировано с сульфидами, платина находится как в самородном виде (извлекается гравитацией), так и в своих биофильных формах (извлекается в графитовый концентрат).

### Электронно-микроскопические исследования

Методом растровой электронной микроскопии с рентгеноспектральным микроанализом (РЭМ–РСМА) изучались образцы тонкозернистых графитосодержащих кварц-серицитовых сланцев, типичных для всей сутырской толщи. Непосредственными объектами исследования являлись полированные аншлифы и фракция, остающаяся после кислотного растворения пород. Аншлиф толщиной 2–5 мм и площадью около 1 см<sup>2</sup> наклеивался на предметный столик микроскопа с помощью графитовой клейкой проводящей пленки Agar Scientific. В аншлифе изучались составы включений благородных металлов и их взаимоотношения с минералами матрицы.

Для изучения морфологии и состава включений золота и платиноидов методом РЭМ–РСМА навеска 2 г истертого до 200 меш образца породы подвергалась многостадийному растворению в кислотах, не взаимодействующих с этими металлами. Остаток после растворения с включениями благородных металлов и других трудно растворимых минералов

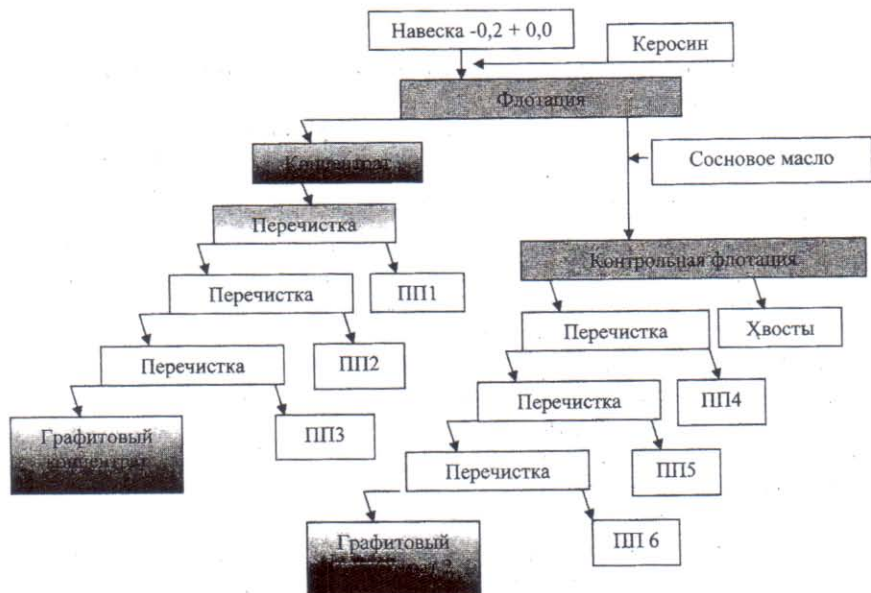


Рис. 3. Схема флотации графитовых сланцев. ПП – промпродукт флотации

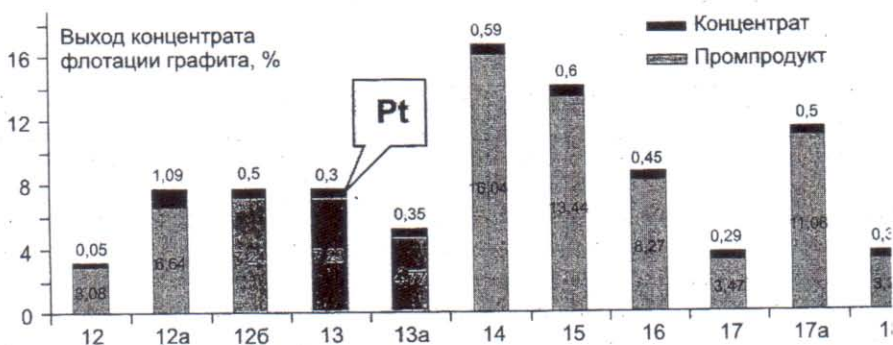


Рис. 4. Флотация графита. Общая исходная проба. 12 – без реагента; 12а – контрольная флотация с сосновым маслом; 126 – основная и контрольная флотации без реагентов; 13 – с керосином (3 перечистки); 13а – контрольная флотация с сосновым маслом; 14 – с сосновым маслом и керосином; 15 – с сосновым маслом и керосином, CaO, pH 10; 16 – с сосновым маслом и керосином, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pH 4,7; 17 – 1-я стадия без реагента; 17а – 2-я стадия с керосином и сосновым маслом; 18 – с сосновым маслом, керосином, клеем

(циркон, рутил, графит) наносился на предметный столик электронного микроскопа, покрытый проводящей пленкой.

Напыление аншлифов и осадка, как правило, не применялись, чтобы исключить влияние напыляемого вещества (углерод, золото) на результаты поиска и анализа. Поскольку изучаемые объекты состояли в основном из проводящих материалов (золото, платиноиды, углеродистые фазы), нанесенных тонким слоем на проводящую пленку, и видимые эффекты «заряда» (недостаточного «стока» электронов) не наблюдались, предполагалось, что искажения «картинки» и результатов количественного анализа были незначительными.

В изученных препаратах обнаружены микровключения самородных железа, серебра и меди, а также микровключения с различным содержанием золота, платины, осмия и иридия (рис. 5).

Для включений самородного железа (рис. 5а) характерны высокие содержания углерода (здесь и далее содержания элементов даны в массовых процентах) (Fe 56,5–84,3; C 15,7–42,6) и примеси кислорода (5,2–5,3), серы (до 0,3) и кремния (до 0,4). В изученных

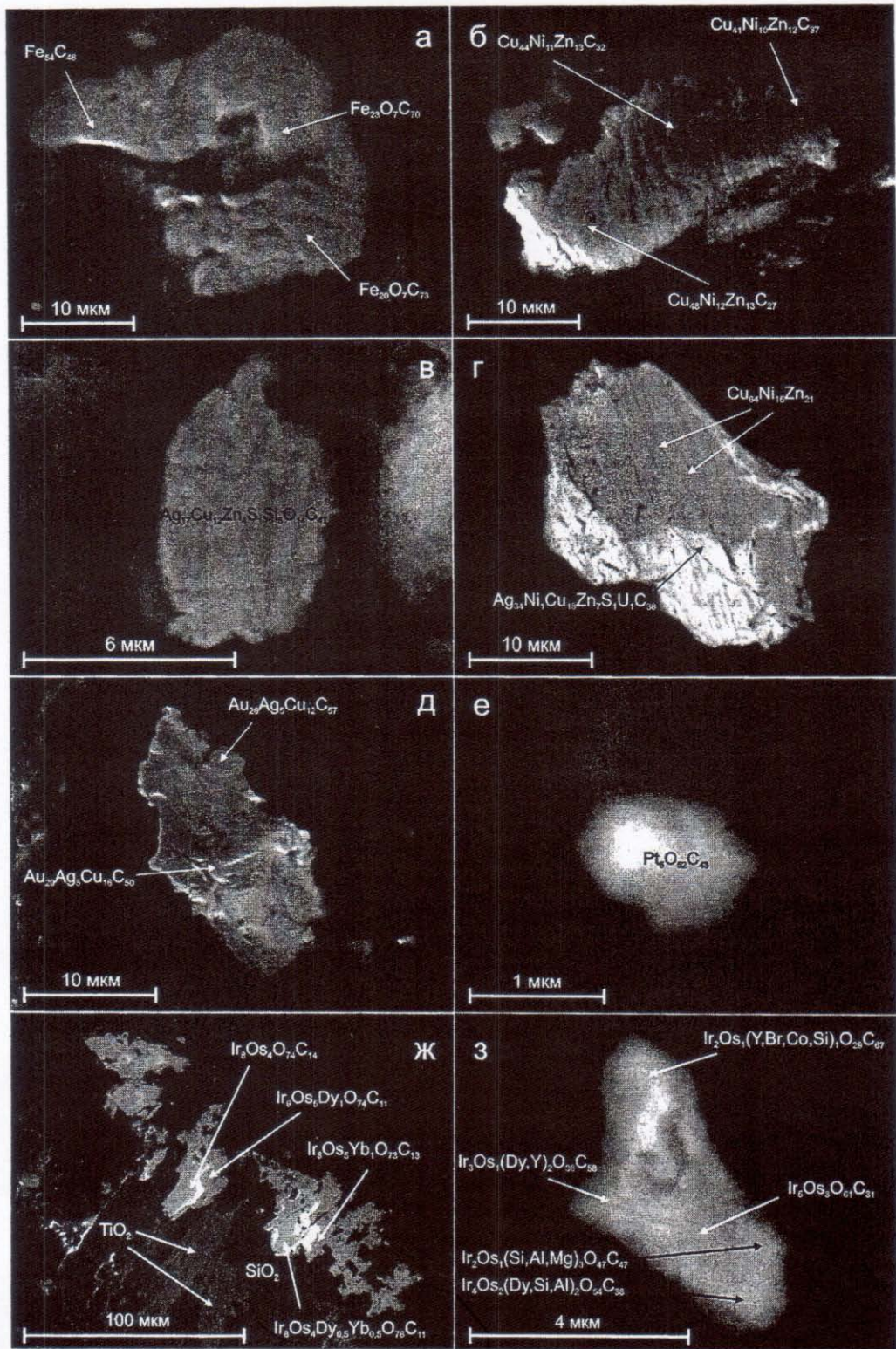


Рис. 5. Выделения самородных металлов в графитовом сланце (обр. 552) сутырской толщи (а-д, ж – аншлиф; е, з – осадок после кислотного растворения): а – железа, б – меди, в – серебра, г – комбинации медь-серебро, д – золота, е – платины, ж, з – осмистого иридия

включениях атомное количество углерода (46–73 ат. %) выше, чем в известных природных карбидах железа – когените (25 ат. %) и халипите (31 ат. %), что в совокупности с неравномерным химическим составом зерен (рис. 5а) говорит о возможности присутствия в них дополнительных богатых углеродом фаз.

Включения серебра и меди способны образовывать как отдельные фазы, так и комбинированные зерна. Включения меди (рис. 5б) часто обнаруживают пористую структуру, в их составе кроме меди (58,5–64,6) зафиксированы никель (13,5–14,2), цинк (17,8–18,0) и углерод (6,6–10,2). Включения серебра (47,8–65,1) имеют комковатую структуру с неровными краями (рис. 5в), для их состава характерны примеси меди (1,8–20,5), урана (до 3,2), цинка (до 7,1), серы (до 0,5), кремния (6,2–3,7), алюминия (до 0,8), кислорода (5,9–15,1) и углерода (7,9–14,6). Комбинированные зерна отличаются плотной структурой и ровными краями (рис. 5г). Центральную часть таких зерен занимает медная фаза (Cu 64,3–64,6; Ni 14,0–14,1; Zn 21,3–21,7). Богатая серебром фаза облекает медную и образует в ней прожилки, что говорит о более позднем ее образовании. Помимо серебра (61,2) она содержит медь (19,4), уран (2,9), никель (0,9), цинк (7,2), серу (0,7) и углерод (7,7). Высокое содержание меди в серебре предполагает присутствие интерметаллических соединений, возможно, образовавшихся при взаимной диффузии в процессе нарастания.

Золото образует уплощенные зерна неправильной формы (рис. 5д), его пробность колеблется в пределах 691–724, в качестве примесей присутствуют серебро (7,3–16,4), медь (8,6–12,7) и углерод (3,5–9,6).

Содержащие платину микровключения в аншлифах не обнаружены, но зафиксированы в осадке после кислотного растворения (рис. 5е). Микровключения не превышают 1–2 мкм, по форме комковатые, характеризуются нечеткими изрезанными границами. Результаты РСМА показывают, что содержание платины в них колеблется в пределах 17–39,1, кислорода 12,3–37,3, углерода 23,6–49,6, из примесей фиксируются железо (0,8–1,6) в 80% включений, калий (0,6–1,1), алюминий (3,3–6,6), магний (0,3–0,6) и фтор (15,3–21,7) – в 60% включений каждый.

Выделения осмистого иридия приурочены к краям микропустот (рис. 5ж), образовавшихся после выщелачивания сульфидов, в непосредственном сростании с кварцем и рутилом. РСМА зерна в аншлифе фиксирует в нем иридий (40,2–42,2), осмий (20,7–23,1), иногда редкоземельные элементы (РЗЭ)\* (Dy до 2,9, Yb до 2,6), а также кислород (26,7–32,0) и углерод (3,1–4,4). Большое количество зерен осмистого иридия выделено в процессе кислотного растворения. Как показал анализ, содержания иридия, осмия и примесей в выделенных зернах сильно варьируют (выборка из 13 анализов): иридий 43,3–11,9; осмий 20,9–1,8; кислород 50,4–11,2; углерод 63,5–3,6. Непостоянен состав самих зерен (рис. 5з): содержание иридия варьирует от 33,9 до 16,4; осмия 19,2–8,7; кислорода 40–24,6; углерода 44,4–12. В качестве примесей в осмистом иридии диагностированы РЗЭ (Dy 1,5–6,3 в 70% анализов, Y 2–6,2 в 45%), кремний (0,7–6,1) в 60% включений, алюминий (0,8–5,8) в 40%, бром (1–4,7) в 30%, магний (0,5–2,9) в 25%, хлор (0,5–2,3) в 15%, калий (0,3), кобальт (0,6), титан (0,4) и фтор (8,1) в 10% включений каждый.

### Обсуждение результатов

В графитовых сланцах сутырской толщи можно предположить три типа минерализации.

Первый, установленный с помощью гравитационных и флотационных методов обогащения, представлен самородными формами золота и платины. Его рудный потенциал, согласно балансовым расчетам, составляет 624 мг/т золота и 0,44 мг/т платины.

\* В соответствии с [1] мы полагаем, что присутствие РЗЭ в результатах РСМА зерен осмистого иридия, вероятнее всего, является результатом неточной идентификации линий платиноидов, главным образом осмия. Поэтому количество РЗЭ здесь и далее дается условно (согласно показаниям спектрометра), их поведение и распределение в изученном материале не обсуждаются.



Второй тип минерализации составляют микровключения, обнаруженные и изученные с помощью электронной микроскопии; их состав может быть описан формулой  $(Au, Ag, MnP)_a(C)_b(O)_c$ , где a, b и c варьируют в широких пределах. Согласно нашим данным, количественно преобладают включения, содержащие платину, иридий и осмий. Наличие углерода и кислорода принципиально отличает эти микровключения от самородных форм выделения золота и платиноидов, обуславливает их исключительную устойчивость к внешним воздействиям (обжиг, окисление, кислотное разложение), что затрудняет анализ валового содержания обычными методами и создание технологий обогащения и переработки таких руд. Грубые подсчеты по количеству обнаруженных включений свидетельствуют о том, что потенциал этой минерализации может достигать первых граммов на тонну для элементов платиновой группы.

Третий тип минерализации предполагается нами на основании экспериментальных исследований [6], которые свидетельствуют о возможности присутствия значительного количества благородных металлов (особенно платины) в составе графита и других углеродистых минералов на атомарном или молекулярном уровне. При температурах, близких к температурам кристаллизации, графит способен насыщаться платиной до концентраций 1000 г/т без образования новой фазы. С учетом этих данных рудный потенциал минерализации этого типа может достигать десятков граммов на 1 т платины.

Изучение составов и форм выделений благородных металлов в графитовых сланцах сутырской свиты позволяет предположить исходные типы минерализации: рассеянный атомарно-молекулярный и связанный с микровключениями. В соответствии с экспериментальными данными, рассеянная атомарно-молекулярная минерализация может формироваться как при метаморфизме обогащенных благородными металлами насыщенных углеродом осадочных пород, так и при последующей графитизации уже сформированных сланцев. Изучение большого количества микровключений показало, что содержание в них платины колеблется от единиц до десятков атомных процентов. При этом их формы изменяются от аморфных и тонкодисперсных до пластинчатых и кристаллических, что сопровождается «очищением» их состава от примесных компонентов (углерод, кислород, другие химические элементы). По-видимому, первые из них представляют собой начальный этап коалесценции рассеянной минерализации в обособленные микровключения, а вторые являются переходными к высокопробным самородным выделениям.

Полученные результаты позволяют предположить, что золоторудный потенциал графитовых сланцев сутырской толщи в основном связан с самородным типом минерализации. Его преимущественная ассоциация с кварц-сульфидными парагенезисами говорит о его возможно наложенном характере. В то же время платиноидная минерализация, весьма незначительная в самородном типе, резко преобладает среди микровключений и, вероятнее всего, в составе рассеянной минерализации. Эти типы минерализации связаны с первичным обогащением графитовых сланцев платиной или с их графитизацией.

Различные свойства носителей трех предполагаемых типов минерализации обуславливают необходимость различных подходов к их поиску, оценке рудоносного потенциала и извлечению. Рассеянный атомарно-молекулярный тип может быть обнаружен и оценен только с использованием высокоэффективных методов химического анализа, которые еще предстоит разработать и аттестовать. Представляется, что перспективными здесь являются неразрушающие физические методы, поскольку традиционные химические методы, связанные с кислотным разложением проб, неэффективны для вскрытия графита. Обогащение пород, содержащих такую минерализацию, основывается на выделении графита. Рудная специализация этого типа преимущественно платиновая. Минерализация, связанная с микровключениями, может быть обнаружена с помощью электронной микроскопии и рентгеновского микроанализа. Учитывая исключительную устойчивость микровключений, представляющих собой металлоорганические соединения, к кислотному

разложению, оценку потенциала этого типа минерализации также целесообразно вести с помощью неразрушающих физических методов анализа. Промышленно рентабельных методов выделения его носителей (обогащения) в настоящее время не существует. Рудная специализация этого типа преимущественно платиноидная с примесью золота и серебра. Самородная минерализация в графитовых сланцах может быть с успехом обнаружена, оценена и введена в эксплуатацию с помощью традиционных методов химического анализа и обогащения, что и делается на известных месторождениях в черных сланцах. Рудная специализация этого типа преимущественно золотая.

Нам представляется, что изученные породы являются носителем нового комплексного благороднометалльного оруденения, в настоящее время недостаточно изученного и не вовлеченного в промышленное освоение. Принципиальная новизна этого типа руд заключается в том, что в ней содержится значительное количество (на уровне промышленных содержаний в рудах самых крупных эксплуатирующихся месторождений мира) благородных металлов, образующих металлоорганические соединения и входящих в состав графита на наноуровне. Этим он отличается от сходных и хорошо изученных черносланцевых месторождений, содержащих углерод в виде органических соединений и включающих благородные металлы в самородной форме в ассоциации с сульфидами и кварцем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бердников Н.В., Коновалова Н.С., Зазулина В.Е. Исследование включений благородных металлов в высокоуглеродистых породах методом РЭМ-РСМА // Тихоокеан. геология. 2010. № 2. С. 90-96.
2. Буряк В.А., Михайлов Б.К., Цымбалюк Н.В. Генезис, закономерности размещения и перспективы золото- и платиноносности черносланцевых толщ // Руды и металлы. 2002. № 6. С. 25-35.
3. Буряк В.А. Проблема генезиса черносланцевых толщ и развитого в них золотого, золото-платиноидного и прочих видов оруденения // Тихоокеан. геология. 2000. Т. 19, № 1. С. 118-129.
4. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / под ред. А.И.Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.; кн. 2. 981 с.
5. Гурская Л.И. Платинородное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 208 с.
6. Матвиенко В.Н., Калашников Ю.Д., Нарсеев В.А. Кластеры – протоформа нахождения драгметаллов в рудах и минерализованных породах // Руды и металлы. 2004. № 5. С. 28-36.
7. Плюснина Л.П., Ханчук А.И., Гончаров В.И. и др. Золото, платина и палладий в рудах Наталкинского месторождения (Верхне-Колымский регион) // Докл. АН. 2003. Т. 391, № 3. С. 383-387.
8. Ханчук А.И., Иванов В.В. Геодинамика Востока России в мезокайнозойе и золотое оруденение // Геодинамика и металлогения. Владивосток: ДВО РАН, 1999. С. 5-30.
9. Черепанов А.А. Платиноносность черносланцевых пород Хабаровского края // Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории Земли: материалы Всерос. литол. совещ., Екатеринбург, 14-16 окт. 2008 г. Т. 2. Екатеринбург, 2008. С. 384-387.