УДК [553.41:553.491:553.541]:550.84 (571.6) © Н.В.Бердников, М.А.Пугачевский, В.С.Комарова, 2014

ПЛАТИНА В УГЛЕРОДИСТЫХ СЛАНЦАХ: МОРФОЛОГИЯ, СОСТАВ И ВОПРОСЫ ГЕНЕЗИСА

Н.В.Бердников (ФБГУН ИТиГ ДВО РАН), М.А.Пугачевский (ФБГУН ИМ ХНЦ ДВО РАН), В.С.Комарова (ФБГУН ИТиГ ДВО РАН)

В углеродистых сланцах восточной части Буреинского массива (Дальний Восток России) платина выделяется в виде микровключений или ассоциирует с графитом в виде нанокристаллитов Pt и PtO₂. Микровключения более характерны для низкотемпературных (зеленосланцевая фация) сланцев со слабо упорядоченным наноразмерным графитом, а нанокристаллиты Pt и PtO₂ — для высокотемпературных (амфиболитовая фация) с полнокристаллическим графитом.

Ключевые слова: платина, форма выделения, углеродистые сланцы.

Бердников Николай Викторович, nick@itig.as.khb.ru, Пугачевский Максим Александрович, pmaximal@mail.ru, Комарова Виктория Сергеевна, komarova@itig.as.khb.ru

PLATINUM IN CARBONACEOUS SCHISTS: MORPHOLOGY, COMPOSITION AND GENESIS

N.V.Berdnikov, M.A.Pugachevsky, V.S.Komarova

Platinum in carbonaceous schists in the western part of the Bureya Massif (Russian Far East) occurs as graphiteassociated micro-inclusions and Pt and PtO_2 nanocrystallites. The micro-inclusions are more common of the lowertemperature (greenschist facies) metamorphic schist with weakly ordered nano-scale graphite, whereas the Pt and PtO_2 nano-crystal clusters occur predominately in the high temperature (amphibole facies) metamorphic schist with highly ordered crystalline graphite.

Key words: platinum, segregation form, carbonaceous schists.

Работами последних лет показано, что в отношении платиноносности перспективными могут быть углеродистые различно метаморфизованные осадочные комплексы. Платина обнаружена в собственно углеродистых сланцах и в приуроченных к ним месторождениях [4, 5, 14, 18 и др.]. В сланцах платина находится преимущественно в трудно диагностируемой тонкодисперсной форме, поэтому основное внимание исследователи уделяют анализу валовых содержаний металла в породах и рудах, приводя в публикациях, как правило, лишь



Рис. 1. Схема расположения объектов исследования:

1 — графитовое месторождение Союзное; 2 — сутырская и 3 — кимканская толщи

обзорные изображения ее микровыделений [8, 10, 13 и др.]. В то же время морфология, структура и вариации химического и фазового составов микровключений могут дать дополнительную информацию об их образовании и, соответственно, о закономерности формирования платинового оруденения в таких породах. Эти данные также могут быть полезны при разработке технологий обогащения высокоуглеродистых платиновых руд.

Авторами изучены углеродистые сланцы сутырской и кимканской толщ (Хабаровский край и ЕАО, Дальний Восток России), а также локализованного в кимканской толще графитового месторождения Союзное (рис. 1). Для низкотемпературных (зеленосланцевая фация метаморфизма) сланцев сутырской и кимканской толщ характерно скрытокристаллическое углеродистое вещество. Графитовые сланцы месторождения Союзное метаморфизованы в условиях амфиболитовой фации и содержат полнокристаллический графит, образующий относительно крупные зерна и чешуйки.

Сутырская толща расположена в пределах Туранского террейна, а кимканская и локализованное в ней месторождение Союзное в пределах Малохинганского. Террейны являются частью раннепалеозойского Бурея-Ханкайского орогенного пояса и в основном представляют собой метаморфизованные фрагменты аккреционных призм [3].

Геологическое положение, петрохимические особенности и вопросы генезиса рассматриваемых

объектов обсуждаются в работах [4, 14], месторождения Союзное в работе [16].

Сутырская толща (PR_1) слагает тектонический блок в зоне Хинганского разлома. В ее составе преобладают слюдяные сланцы, среди которых встречаются филлиты, метаалевролиты, мраморы и кварциты. Для сланцев характерна повышенная углеродистость (1-5% C_{орг}), встречаются пласто- и линзообразные тела с содержанием углеродистого материала от 10 до 80%. Сланцы метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации, в местах контактового воздействия палеозойских гранитоидов они приобретают облик гнейсоподобных пород, нередко с гранатом, силлиманитом и андалузитом. На участке отбора проб толща инъецирована многочисленными дайками долеритов. Общая мощность толщи оценена в 1500 м.

Углеродистое вещество (УВ) в сланцах тонкозернистое сажеобразное, заполняет межкристаллитное пространство, подчеркивая слоистую структуру пород, и образует мелкую сыпь в кварце. По данным рентгеновской микродифракции и спектроскопии комбинационного рассеивания света УВ сутырской толщи представлено слабоупорядоченным графитом с размером чешуек не более 10– 20 нм, с которым часто ассоциирует битумоидная составляющая [12]. Судя по изотопным характеристикам ($\delta^{13}C_{VPDB}$ = -20,7÷-24,4‰), оно преимущественно биогенного происхождения [20].

Кимканская толща (\mathcal{C}_1) слагает крупный блок в останцах кровли гранитов. В ее разрезе участвуют рассланцованные песчаники, мраморы, кварциты, алевролиты, углеродистые (0,5–2% C_{opr}) слюдяно-кварцевые сланцы и филлиты, метаморфизованные в условиях зеленосланцевой и эпидотамфиболитовой фаций. Встречаются пачки высокоуглеродистых сланцев с содержанием C_{opr} до 25,7%. Вблизи ордовикских интрузий гранитов рассланцованные породы контактово метаморфизованы с образованием роговиков амфибол- и мусковит-роговиковой фаций.

Как и в породах сутырской толщи, УВ кимканских сланцев состоит из слабоупорядоченного нанокристаллического графита, располагающегося вдоль слоистости и образующего микровключения в минералах [12]. Его утяжеленный изотопный состав ($\delta^{13}C_{VPDB}$ =-16,5÷19,1‰) позволяет предполагать, что наряду с биогенной составляющей в нем присутствует углерод глубинного происхождения [20].

Месторождение графита Союзное сложено чередованием более десятка пластов высокоуглеродистых пород со средним содержанием графита 16–18%. Площадь месторождения 60 км². Согласно

ресурсам графитовых руд (2прогнозным 3 млрд. т), оно — одно из крупнейших месторождений графита в мире. Геологическое положение и петрохимические характеристики графитовых сланцев месторождения приведены в работе [16]. Графит в основном явно кристаллический, его изометричные чешуйки ориентированы вдоль слоистости пород, заполняют межзерновые пространства, трассируют трещинки спайности и раскола в зернах кварца и полевых шпатов, образуют в них микровключения. На микроуровне различаются четыре основные разновидности графита — пластинчатая, призматическая, игольчатая и колломорфная. Наиболее распространены изученные в данной работе пластинчатая и призматическая. Обогащенность графита легким изотопом углерода (б¹³С_{VPDB} от -20,6 до -23,8‰) говорит о его преимущественно биогенном происхождении [20].

Концентрации благородных металлов в углеродистых сланцах, определенные разными методами, значительно варьируют. Нами методом ICP-MS с кислотным разложением проб сделано более 130 определений [15]. Средние содержания составляют, мг/т: для сланцев сутырской толщи Pd 39,9, Pt 13,9, Au 502,9, для сланцев кимканской толщи Pd 43,0, Pt 11,4, Au 107,2, для сланцев месторождения Союзное Pd 12,1, Pt 4,2, Au 151,8. По результатам балансовых расчетов после гравитационно-флотационного обогащения содержания Pt в углеродистых сланцах сутырской и кимканской толщ 0,44 и 490 мг/т соответственно [1]. Л.И.Гурская [5] приводит данные о содержаниях платины в сланцах кимканской толщи до 10 г/т.

Основным методом обнаружения и исследования форм нахождения платины в углеродистых сланцах была сканирующая электронная микроскопия с энергодисперсионным рентгеновским микроанализом (РЭМ EVO 40HV, Carl Zeiss, Германия; спектрометры INCA Energy 350 и X-MAX 80, Oxford instruments, Великобритания). Изучались свежие сколы пород и осадки после их растворения в кислотах. Привлекались также результаты минералогического анализа протолочек и продуктов гравитационного обогащения (минералог Л.И.Щербак, ИГД ДВО РАН, Хабаровск), данные просвечивающей электронной микроскопии (микродифракция и спектроскопия энергетических потерь электронов (EELS) на ПЭМ Libra-120, ДВГУПС, Хабаровск) чешуек графита.

В изученных нами углеродистых метаосадочных породах платина присутствует в трех формах: макровключения, микровключения и рассеянная в графите. К макровключениям нами отнесены зерна размером >0,05 мм, диагностируемые под оптиче-



Рис. 2. Макровключение платины из углеродистых сланцев сутырской толщи:

1-3 — точки анализа

ским микроскопом и выделяемые с помощью гравитационных и флотационных методов обогащения. Как правило, в их составе преобладает платина, в качестве основной примеси содержится железо. Микровключениями считаются выделения меньшего размера, чаще всего <20 мкм. В них по данным энергодисперсионного анализа содержание Pt от долей до 93 мас. %, остальное приходится на долю примесей, среди которых преобладают элементы породной матрицы. Рассеянная в графите платина диагностируется лишь специальными методами EELS спектроскопии и микродифракции.

Макровключения платины обнаружены только в углеродистых сланцах сутырской толщи методами минералогического анализа протолочек и продуктов гравитационного обогащения [1] (рис. 2). Они относятся к изоферроплатине и по количеству железа (9,4–12,0 мас. %) сходны с изоферроплатиной из дунитов и клинопироксенитов массива Кондер (7,5–9,5 мас. % Fe, по [9]). Микровключения, в составе которых зафиксирована платина, часто встречаются в изученном материале. Наиболее широко их разновидности представлены в сланцах кимканской толщи (рис. 3).

Как показывают результаты микрозондовых исследований (рис. 4; см. рис. 3 в мас. %; стрелки места точечных анализов), содержания платины в микровключениях различной морфологии неодинаковы. Наиболее низкие ее концентрации отмечены в субкристаллических включениях, обогащенных оловом (см. рис. 3, *а-в*) и медью (см. рис. 3, *г*). При этом платина может находиться в них как в рассеянном состоянии (см. рис. 3, а), так и в виде наноразмерных выделений, ассоциирующих с обогащенными оловом или медью фазами (см. рис. 3, б-г). Этот вывод сделан нами на основании анализа СЭМ-изображений включений в режиме обратнорассеянных электронов. Микровключения с рассеянной платиной имеют на них относительно равномерный фототон (см. рис. 3, a), в то время как нановыделения платины отображаются в виде точек повышенной яркости (см. рис. 3, б-г). Фиксируемые энергодисперсионным микроанализом примеси C, O, Si, Al, Ti, Fe могут как входить в состав самих микровключений, так и принадлежать материалу матрицы.

Включения с высокими концентрациями платины (см. рис. 3, *д*-3) характеризуются равномерным фототоном в обратнорассеянных электронах. Концентрации других элементов (за исключением Au) являются, вероятнее всего, результатом попадания в область возбуждения аналитического рентгеновского излучения материала породной матрицы. Такие микровключения имеют форму угловатых частичек, пластинок, проволочек, реже футляровидных и полнопроявленных кристаллов.

В углеродистых сланцах сутырской толщи обогащенные платиной микровключения встречаются значительно реже. Так, если в 25 изученных образцах сланцев кимканской толщи 38 микровключений с платиной (1,52 вкл./обр.), то в 14 образцах сутырских сланцев лишь пять Pt-содержащих микровключений (0,36 вкл./обр.). Морфологически они менее разнообразны: это неправильные с размытыми краями (см. рис. 4, $a-\delta$) или пластинчатые (см. рис. 4, в-e) выделения размером 1–5 мкм.

Содержание платины в микровключениях из сланцев сутырской толщи в соответствии с результатами энергодисперсионного микроанализа колеблется от 18,3 до 76,4 мас. %. При этом в отличие от микровключений из сланцев кимканской толщи в них в качестве примесей фиксируются только элементы углерод-силикатной матрицы. Примеси других металлов (Ni, Cu, Sn, Au, Ag) отсутствуют. Учитывая малые размеры включений, нам представляется, что в составе самих микровключений преобладает платина, а примеси обусловлены попаданием в зону возбуждения аналитического рентгеновского излучения вещества матрицы [2].

Микровключения платины в графитовых сланцах месторождения Союзное редки. Их размеры варьируют от долей мкм до 1–2 мкм (см. рис. 4, *д*). По данным энергодисперсионного микроанализа



Рис. 3. Основные разновидности Рt-содержащих микровключений в углеродистых сланцах кимканской толщи:

a — Рt рассеяна в оловянистой фазе; δ -*c* — наноразмерная Pt в ассоциации с оловянистой (δ , ϵ) и медистой (z) фазами; платина высокой чистоты: ∂ — однородные, e — пористые микрочастицы, \mathcal{H} — футляровидные микрокристаллы, *з* — «проволочки»



содержания в них Pt не превышают 10 мас. %, остальное приходится на долю примесей породообразующих элементов Si, Al, Na, K.

3 мкм

EELS спектроскопия графитовых чешуек позволила в ряде образцов сланцев месторождения выявить характеристические потери энергии электронов $O_{2, 3}$, соответствующие Pt и Au, и представить визуальную картину их распределения в графите (рис. 5, *a*) [12]. Поскольку Pt и Au имеют близкие значения $O_{2, 3}$, для детализации полученного результата определен EELS спектр характеристических потерь $M_{4, 5}$ [21] (см. рис. 5, *в*). Известно, что область характеристических потерь $M_{4, 5}$ для Pt

руются начиная с 2170–2250 эВ, то можно уверенно говорить о наличии платины в изученном графите. Присутствие золота в нем также возможно, поскольку повышенные значения $M_{4, 5}$ в области >2250 эВ могут быть результатом наложения спектров поглощения Pt и Au. Однако это представляется маловероятным, если принять во внимание данные о предпочтительном вхождении платины в графит [7]. В нанокристаллическом графите сутырской и кимканской толщ платина и золото данным методом не обнаружены (см. рис. 5, *б*) [12].

Результаты EELS картирования чешуек графита изученных сланцев представлены в табл. 1. Видно, что примерно в одной трети изученных чешуек высокотемпературного полнокристаллического графита месторождения Союзное зафиксировано присутствие платины (±Au).

Для выяснения фазовой природы платины в графите использован метод Select Area Electron Diffrac-



Рис. 5. Результаты EELS спектроскопии чешуек графита:

белые точки — места скопления благородного металла из сланцев месторождения Союзное (a, c, d) и кимканской толщи (δ) ; e — спектр характеристических потерь $M_{4,5}$ (I — интенсивность; сплошная линия — усредненные значения) в графите месторождения Союзное; e — электронная микродифракция от области скопления благородного металла на изображении d

tion (SAED) с диафрагмой Select Area 10 мкм. Изучались области графита из обр. О-52 месторождения Союзное, в которых по данным EELS картирования выявлена платина. В этих областях выполнены микродифракционные исследования участков площадью ~0,5 мкм² (см. рис. 5, *д*, *e*). При идентификации микродифракционных картин установлено, что платина в графите может присутствовать как в виде металла, так и в виде PtO₂ (табл. 2). Анализ картотеки базы данных ASTM [19] показал, что кроме фаз Pt и PtO₂ полученные значения *d* характерны для соединений платины с кремнием Pt₂Si и Pt₆₄Si₃₆. Однако их наличие в образце маловероятно из-за отсутствия на EELS спектрах изученных участков графитовых чешуек характеристических пиков кремния. Сравнение полученных значений *d* с межплоскостными расстояниями для Au свидетельствует также о малой вероятности нахождения в графите золота.

Таким образом, согласно нашим данным, морфология и состав выделений, формирующих платинометальную минерализацию углеродистых сланцев изученных проявлений, различны. В сланцах сутырской толщи присутствуют относительно крупные зерна изоферроплатины, которые в сланцах кимканской толщи и месторождения Союзное не обнаружены. Представляется, что наиболее вероятным их источником могли быть дайки и небольшие тела оливиновых долеритов, обильно

Номера образцов	Масто раятия	Чиело пр	о изученных епаратов	Частота	
	место взятия	Всего	Обнаружено Pt (±Au)	Pt ($\pm \Lambda u$), %	
704	Месторождение	11	3	27	
O-52	Союзное	17	5	29	
739	Vun would von To The	11	0	0	
631	кимканская толща	10	0	0	
562-T		9	0	0	
565	Сутырская толща	8	0	0	

1. Результаты EELS картирования чешуек графита изученных сланцев

Образец		Эталонные значения								
O-52		Графит		Pt		PtO ₂		Au		
d	Int	d	Int	d	Int	d	Int	d	Int	
3,34	40	3,38	100							
3,18	36					3,19	100			
						2,58	70			
								2,35	100	
				2,27	100	2,27	55			
		2,12	5							
								2,04	51	
1,98	53	2,02	10							
1,96	19			1,96	86					
1,66	15	1,69	10			1,69	90			
1,59	20					1,60	40			
1,55	18					1,56	35			
								1,44	39	
						1,43	35			
1,38	11			1,39	86	1,42	20			
		1,23	18					1,23	47	
1,16	21			1,18	100			1,18	14	
1,15	17	1,15	9							
1,13	15	1,12	1	1,13	57					

2. Результаты микродифракции чешуек графита месторождения Союзное

интрудирующих сутырскую толщу в районе опробования. По-видимому, макровключения попали в материал сланцев при отборе крупнообъемной (70 кг) технологической пробы для экспериментов по гравитационному и флотационному обогащению [1]. В таком случае отсутствие этой формы выделения платины в сланцах кимканской толщи и месторождения Союзное связано с отсутствием на территории их проявления подобных магматических образований. Поэтому данная форма выделения платины, вероятнее всего, не сингенетична углеродистым сланцам и не характерна для них.

Обогащенные платиной микровключения в углеродистых сланцах кимканской толщи условно можно разбить на три группы: платина, рассеянная в аморфной (?) фазе (см. рис. 3, *a*); нановыделения платины в ассоциации с фазами, обогащенными другими металлами (Ni, Cu, Sn, см. рис. 3, δ -*e*); существенно платиновые микровключения (см. рис. 3, ∂ -*3*). По-видимому, включения этих групп представляют последовательные этапы их перекристаллизации и очищения от примесей. Начальным этапам отвечают микровключения с рассеянной в аморфной фазе платиной, конечным — ее кристаллические формы, пластинки и проволочки.

Микровключения из сланцев сутырской толщи и месторождения Союзное сходны по составу. Его вариации связаны со степенью захвата в зону возбуждения аналитического излучения материала матрицы: в мелких включениях «примесей» элементов матрицы больше (см. рис. 4, *а-е*, *д*), в относительно крупных — меньше (см. рис. 4, *г*).

Платина, рассеянная в графите месторождения Союзное, представляет собой особую форму выделения. Возможность хемосорбции платины на графит доказана экспериментально [11]. Отмечено, что количество сорбированной графитом платины увеличивается с температурой и достигает при 500°С 3,92·10⁻³моль Pt на 1 кг сухого вещества (790 г/т).

Ранее сообщалось о различных формах ассоциации платины с углеродом. Это полученные экспериментально наноразмерные проволочки и частички, формирующиеся в каналах нанотрубок, платиновые пластинки толщиной 2–3 нм между слоями графита (Pt-графитовый интеркалат) [6, 17], а также упомянутая выше сорбированная форма. В отобранных нами образцах природного графита каких-либо отдельных фаз платины в графите визуально не зафиксировано на всех уровнях увеличений сканирующего и просвечивающего микроскопов. Это говорит о том, что Pt и PtO₂ рассеяны в графите или адсорбированы на его поверхности в виде наноразмерных (первые нанометры) выделений.

Обнаружение ассоциированной с графитом платины в высокотемпературных сланцах месторождения Союзное и отсутствие ее в низкотемпературном графите сланцев сутырской и кимканской толщ подтверждает экспериментальные данные о наиболее интенсивной сорбции платины углеродом при высоких (~500°C) температурах [11]. Проведенные исследования показывают, что платина в углеродистых сланцах выделяется в виде микровключений или ассоциирует с графитом в виде наноразмерных кристаллитов Pt и PtO₂. Микровключения более характерны для низкотемпературных (зеленосланцевая фация) сланцев со слабо упорядоченным наноразмерным графитом, а наноразмерные выделения — для высокотемпературных (амфиболитовая фация) графитовых сланцев. Возможно, эта закономерность — результат перераспределения платины при возрастании температуры из микровключений в графит.

Полученные данные необходимо учитывать при разработке критериев поиска платиновой минерализации в углеродистых породах, а также при создании технологий обогащения и переработки высокоуглеродистого платинового сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александрова Т.Н., Черепанов А.А., Бердников Н.В. Результаты минералогического и технологического изучения благороднометальной минерализации углеродистых пород сутырской и кимканской толщ Буреинского массива // Проблемы комплексного освоения георесурсов: мат-лы IV Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых (Хабаровск, 27–29 сентября 2011 г). Хабаровск, 2011. Т. 1. С. 229–235.
- Бердников Н.В., Коновалова Н.С., Зазулина В.Е. Исследование включений благородных металлов в высокоуглеродистых породах методом РЭМ-РСМА // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29. № 2. С. 90–96.
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Ред. А.И.Ханчук. – Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1, 2.
- Графитовые сланцы как перспективный источник благородных металлов на Дальнем Востоке России / А.И.Ханчук, А.Н.Диденко, И.Ю.Рассказов и др. // Вестн. ДВО. 2010. № 3. С. 3–12.
- Гурская Л.И. Платинометальное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2000.
- Дунаев А.В. Слоистые углеродные матрицы с наночастицами металлов: получение и свойства: Автореф. дис... канд. химических наук. М., 2010.
- Заводинский В.Г., Михайленко Е.А., Ханчук А.И. Сравнительное моделирование поведения благородных металлов в графитовых сланцах // Георесурсы. 2012. № 1. С. 25–27.
- 8. *Нанодисперсное* состояние металлов и их миграция в углеродистых природных средах / В.К.Немеров, Э.А.Развозжаева, А.М.Спиридонов и др. // ДАН. 2009. Т. 425. № 2. С. 233–236.

- Некрасов И.Я. Петрология и платиноносность кольцевых щелочно-ультраосновных комплексов. – М.: Наука, 1994.
- Новые данные по платиновой минерализации золотых руд месторождения Сухой Лог (Ленский золоторудный район, Россия) / В.В.Дистлер, М.А.Юдовская, Э.А.Развозжаева и др. // ДАН. 2003. Т. 393. № 4. С. 524–527.
- Плюснина Л.П., Кузьмина Т.В. Моделирование хемосорбции золота и платины на графит, синтезированный из битумоидов // Тр. XV Всероссийского совещания по экспериментальной минералогии. Сыктывкар, 2005. С. 397–398.
- 12. Фазовое состояние углеродистого вещества металлоносных сланцев Дальнего Востока России / Н.В.Бердников, Т.Г.Шумилова, С.А. Пячин и др. // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33. № 4. С. 42–49.
- Формы нахождения платиновых металлов в рудах золота из черных сланцев / Н.П.Ермолаев, Н.А.Созинов, В.А.Чиненов и др. // Геохимия. 1995. № 4. С. 524–532.
- 14. Ханчук А.И., Невструев В.Г., Бердников Н.В., Нечаев В.П. Петрохимические особенности углеродистых сланцев в восточной части Буреинского массива и их благороднометальная минерализация // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 6. С. 815–828.
- 15. Черепанов А.А., Бердников Н.В. Благородные металлы в углеродистых породах восточной части Буреинского массива: новые данные // Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии. VIII Косыгинские чтения. Мат-лы Всероссийской конференции. 17–20 сентября, Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН. Владивосток, 2013. С. 339–342.
- 16. Черепанов А.А. Крупнейшее месторождение графита Союзное (новые данные) // Отечественная геология. 2014. № 1. С. 21–32.
- 17. *Masayuki S., Koichi I. and Masahiko A.* Formation of platinum nanosheets between graphite layers // Chemical Communications. 2000. P. 623–624.
- Noble metal-graphite mineralization: A comparative study of the carbonaceous granite-gneiss complex and shales of the Russian Far East / A.I.Khanchuk, V.P.Nechaev, L.P.Plyusnina et al. // Ore Geology Reviews. 2013. Vol. 53. P. 276–286.
- Powder Diffraction File. Joint Committee on Powder Diffraction Standards ASTM Philadelphia PA. 1967. Card 1-1190 (Pt). Card 21-613 (PtO₂). Card 17-683 (Pt₂Si). Card 39-1295 (Pt₆₄Si₃₆).
- Rollinson H.R. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. – Essex: London Group UK Ltd., 1994.
- Tri- and quadri-metallic ultrathin nanowires synthesized by one-step phase-transfer approach / W.-Q.Han, D.Su, L.Wu, T.Aoki and Y.Zhu // Nanotechnology. 2009. Vol. 20. P. 495605–495609.