

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАФИТА И БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ
МИНЕРАЛИЗАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЮЗНОГО (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК)

А.А. Черепанов, Н.В. Бердников

*ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Ким Ю Чена 65,
г. Хабаровск, 680000; e-mail: nick@itig.as.khb.ru*

Поступила в редакцию 4 апреля 2012 г.

Изучены физико-химические свойства графита месторождения Союзного (ЕАО, Дальний Восток России). Показано, что графит месторождения в основном мелкокристаллический с размером чешуек меньше 0.1 мм. Содержание крупночешуйчатого, наиболее ценного, графита составляет в среднем 13–14 % от общей массы графита. Графитовые сланцы месторождения легко обогащаются по стандартным технологиям, а качество графитового сырья допускает его широкое промышленное использование. Прогнозные ресурсы графитовых руд достигают 2–3 млрд т, что позволяет отнести Союзное месторождение к крупнейшим месторождениям графита в мире.

В графитовых сланцах отмечены примеси благородных металлов, входящих в состав сланцев в виде микровключений и в графит на наноуровне. Суммарное содержание платиноидов и золота может быть оценено в 1–1.5 г/т, однако специфические формы выделения благородных металлов требуют разработки особых методов обогащения таких руд.

Ключевые слова: графит, графитовые сланцы, благороднометалльная минерализация, месторождение Союзное, Дальний Восток России.

ВВЕДЕНИЕ

Уникальные свойства графита (огнеупорность, электротеплопроводность, устойчивость к воздействию многих реагентов, высокая смазывающая и кроющая способность и др.) обусловили многоотраслевое использование графитового сырья и изделий из него. Потребность России в графитовом сырье составляет не менее 40–60 тыс. т в год, однако в эксплуатации находится только Тайгинское месторождение в Челябинской области с содержанием графита 3.2 % и годовой добычей 4–6 тыс. т [12].

Одним из возможных источников высококачественного кристаллического графитового сырья может быть Союзное месторождение графита, расположенное на территории Еврейской автономной области. Месторождение известно с конца XIX века, на нем проведены поисковые и детальные разведочные работы, утверждены запасы категорий А+В+С₁ в объеме 8.7 млн т при содержании графита 16.8 % [4, 10, 13].

В районе месторождения известны разведанные месторождения минеральных красок, мрамора, доломитов, магнезитов, брусита, железо-марганцевых руд

и россыпного золота. Кроме того, нашими исследованиями показано, что породы и руды самого месторождения содержат сопутствующую золото-платиноидную минерализацию.

Цель наших исследований – показать возможность комплексного использования ресурсов месторождения Союзного как для получения высокосортного графитового сырья, так и в качестве нетрадиционного источника благородных металлов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной объем аналитических исследований выполнен в лабораториях ФГУП “Дальгеофизика”, ИТиГ ДВО РАН (Хабаровск) и ЦНИИГеолнеруд (Казань). Химический анализ проб графитоносных сланцев на главные порообразующие элементы проведен классическим методом, количественный фазовый анализ – на дифрактометре D8 Advance, дифференциальный термический анализ – на модернизированном дериватографе D 1500 Q, просвечивающая электронная микроскопия – на электронном микроскопе JEM-2000CX и Zeiss Libra-120; изотопные характеристики углерода – на масс-спектрометре Thermo Finnigan

МАТ. Технологические исследования по получению графитового концентрата проведены в ЦНИИгеолне-руд (Казань) согласно методическим разработкам [9]. Определение валовых содержаний в графитовых сланцах редких и благородных металлов выполнены методом ICP-MS (прибор ELAN DRC II). Для анализа благородных металлов (Au, Pt, Pd, Ir, Ru, Rh) применялось предварительное концентрирование путем соосаждения с теллуrom. Формы выделения благородных металлов в сланцах изучались с помощью сканирующего электронного микроскопа EVO 40 HV с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350. Элементный состав графита изучался с помощью просвечивающего электронного микроскопа Zeiss Libra-120 (ускоряющее напряжение 120 kV), оснащенного HAADF детектором и Ω -фильтром. Электронограммы в режиме микродифракций калибровались с помощью тестового образца на основе поликристаллической пленки золота. Идентифицирование дифракционных картин осуществлялось по данным картотеки ASTM. Распределение элементов определялось при помощи методики визуализации спектроскопии энергетических потерь электронов (EELS image), которая позволяет отобразить качественное распределение элементов с порогом обнаружения до 10^{-20} г.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Союзное месторождение графита расположено в Кимканском прогибе Буреинского массива, сложенного терригенными, кремнисто-терригенно-карбонатными и кремнисто-терригенными формациями верхнего рифея–нижнего кембрия, и представляет собой чередование более десятка пластов высокоуглеродистых пород со средним содержанием графита 16–18 %. Площадь месторождения – 60 км² (рис. 1).

Вмещающими породами являются метаморфические образования, представленные продуктами регионального и контактового метаморфизма. Большинство исследователей [4, 10, 11, 17] относят осадочно-метаморфические образования района месторождения к союзненской свите нижнего протерозоя, но по результатам ГДП масштаба 1:200 000 (Атрашенко, 2001 г.) эти образования отнесены к кимканской толще нижнего кембрия [3]. Последняя в пределах площади месторождения разделяется на три пачки, моноклинально падающие на северо-запад под углами 10–40°. Наиболее графитоносной является нижняя пачка, сложенная переслаивающимися графитовыми и графитсодержащими кварцево-сланцевыми, слюдяно-кварцевыми, кварц-полевошпатовыми и другими сланцами с прослоями кварцитоподобных пород,

филлитов и мраморизованных известняков. Средняя пачка сложена метаморфизованными сланцами, а верхняя по составу сходна с нижней, но менее графитоносна. Мощность графитоносной части кимканской толщи оценивается в 1600 м. В юго-западной части месторождения древние породы перекрыты конгломератами кайнозойского возраста, на северо-западе прорваны меловыми гранитами, а на самом месторождении секутся маломощными телами пегматитов, аплитов и гидротемальными жилами кварца. Гранитам сопутствуют микроклинизация, мусковитизация, альбитизация, а также пневматолитово-гидротермальные изменения – турмалинизация, грейзенизация, скарнирование и окварцевание вмещающих сланцев. На контактах с гранитами и пегматитами породы термально изменены с образованием минеральных ассоциаций мусковит-роговиковой и пироксен-роговиковой фаций. Парагенезис андалузита, силлиманита и графита характеризует метаморфизм, происходивший при температуре 700–800°C и давлении порядка 3 кбар.

Дислокационный метаморфизм пород толщи выражен рассланцеванием, перекристаллизацией цемента в терригенных породах, мраморизацией карбонатных пород и образованием бластических структур, что соответствует начальным стадиям филлитовой фации. Моноклинальное падение пород на площади рудного поля осложнено мелкими складками и нарушено продольными и, реже, поперечными разрывными нарушениями.

Графитсодержащие сланцы образуют 13 рудных тел мощностью от 25 до 580 м и протяженностью от 0.3 до 6.6 км (рис. 1). Содержание графита в них колеблется от 2,5 до 38 % при среднем 14–16 %. Форма рудных тел пластовая, местами линзовидная до четковидной как по простиранию, так и по падению. Характерно наличие прослоев “пустых” кварц-полевошпат-сланцев, переслаивание и ветвление пластов.

Графитоносные пласты отчетливо выделяются контрастными аномалиями естественного электрического поля и повышенной радиоактивностью (до 50 мкр/ч), по данным АГСМ съемок над ними фиксируются аномалии урана (до $6 \cdot 10^{-4}$ %) (Атрашенко, 2001 г.). Контакты с вмещающими породами резкие. Графит в рудных телах, как правило, кристаллический средне-мелкозернистый, однако в зальбандах крупных тел выделяются участки, сложенные аморфным или тонкозернистым графитом с пониженным содержанием углерода.

Химические составы типичных разновидностей графитоносных сланцев и пегматитов представлены в

Рис. 1. Схематическая геологическая карта месторождения Союзное (по [10] с дополнениями).

1 – неграфитизированные сланцы, 2 – известняки и мраморы, 3 – графитизированные сланцы, 4 – пегматиты, 5 – граниты, 6 – конгломераты мелового возраста, 7 – графитовые сланцы, 8 – разломы.

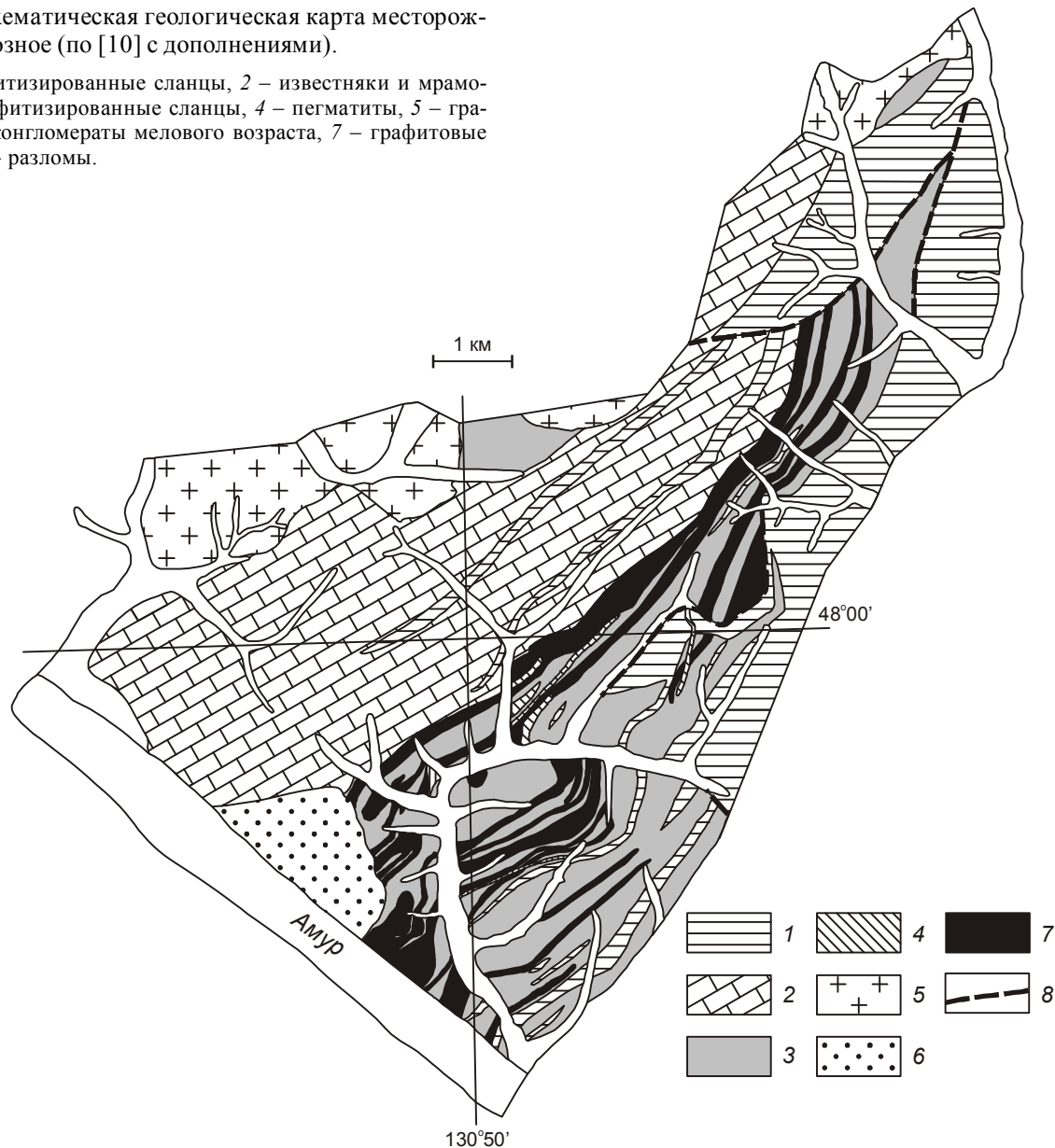


табл. 1. В сланцах относительно кларков вдвое повышены содержания Pb, Be, Ba, Ag, в 7–10 раз – U, Bi, Mo, V, Cr. Установлена тесная корреляционная связь Mo-Cu-Co-Ni-U-V. При увеличении в составе сланцев полевошпатовой составляющей уменьшаются содержания Sc, V, Cr, Ni, Zn, Y, Th, U и возрастают концентрации Sr, Nb, Ba. Сланцы обогащены легкими редкими землями и обеднены тяжелыми. Отрицательная европиевая аномалия характерна для собственно графитовых сланцев, положительная – для графитосодержащих гнейсов и гнейсовидных разновидностей. По результатам спектрального анализа, положительная корреляция установлена между графитом и стронцием ($r = 0.64$) и отрицательная с иттрием ($r = -0.61$).

Из рудных минералов для графитовых сланцев характерен пирит в виде сингенетичной мелкой вкрапленности и секущих пиритовых и кварц-пиритовых прожилков. В незначительных количествах (доли %) обнаружены пирротин, гематит, гетит.

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАФИТА

Графит на месторождении в основном кристаллический, образует чешуйки изометрической формы от 0.02 до 0.25 мм, редко больше, в поперечнике, ориентированные вдоль слоистости (сланцеватости) породы. В направлении к гранитному массиву, на контакте с пегматитами и кварцевыми жилами концентрация графита в сланцах повышается, а размеры

Таблица 1. Химический состав (оксиды и углерод – в %, микроэлементы – в г/т) графитовых сланцев Союзного месторождения.

	1	2	3	4	5
SiO ₂	61.16	64.95	67.38	66.57	67.27
TiO ₂	0.83	0.67	0.68	0.89	0.48
Al ₂ O ₃	11.72	9.74	11.33	14.33	13.71
Fe ₂ O ₃	3.27	1.88	1.00	1.48	5.33
MnO	0.05	0.04	0.02	0.03	0.03
CaO	3.81	3.65	0.08	3.08	2.67
MgO	1.39	0.73	0.62	1.19	0.38
Na ₂ O	0.70	0.70	0.90	0.60	0.83
K ₂ O	3.55	2.92	4.75	5.98	8.13
P ₂ O ₅	0.10	0.11	0.02	0.06	0.66
C _{общ}	12.13	9.05	9.20	7.47	6.62
Сумма	99.55	94.41	91.66	99.75	101.15
Sc	14.88	12.35	0.58	15.42	1.40
V	640.80	549.14	33.63	278.43	213.54
Cr	267.57	226.31	110.46	140.31	201.80
Co	18.33	5.98	1.75	2.78	7.02
Ni	33.91	9.60	9.60	9.13	48.58
Cu	73.91	14.70	29.96	37.48	35.87
Zn	112.55	52.23	60.08	57.74	73.89
Ga	19.70	16.68	10.00	22.94	13.54
Rb	121.48	83.96	248.37	201.41	224.39
Sr	90.39	65.25	270.98	95.87	248.57
Y	15.48	14.19	2.51	12.84	7.40
Zr	79.47	59.53	9.08	89.49	14.30
Nb	5.69	5.42	2.62	8.25	18.74
Ag	1.39	1.09	0.77	1.36	1.97
Sn	2.46	4.97	4.06	3.07	3.75
Cs	6.19	5.29	12.50	10.07	8.96
Ba	523.51	489.86	1449.76	1081.95	1066.21
Hf	2.30	1.45	0.23	2.24	0.43
Ta	0.40	0.34	0.16	0.53	2.63
Pb	20.88	10.24	91.15	57.83	76.81
Th	12.16	8.54	15.37	12.36	5.33
U	19.29	14.35	1.42	14.59	2.49

Примечание: 1 – мелкочешуйчатый графитовый сланец; 2 – среднечешуйчатый графитовый сланец; 3 – гнейсовидный графитовый сланец; 4 – графит-полевошпатовые гнейсы; 5 – графитоносные пегматиты; n – число анализов.

чешуек увеличиваются. В пегматитах переотложенный (экспалационный?) графит смоляно-черного цвета заполняет трещины. Этот графит, судя по данным рентгеноспектрального микроанализа, отличается наибольшей чистотой. В нем не встречено посторонних примесей, в то время как в чешуйчатых графитах из сланцев постоянно присутствует примесь Si, O, реже – Ca, Na. Количество такого “чистого” графита

не превышает 0.5–1 % от общей массы графита на месторождении.

Согласно результатам дифференциального термического анализа, углеродистое вещество графитовых сланцев представлено как полнокристаллическим, так и скрытокристаллическим графитом. Часто обе модификации присутствуют в одной пробе. С увеличением общего содержания графита в образце степень его кристалличности снижается, что подтверждается отрицательным значением коэффициента корреляции между содержанием графита и значениями энергии активации ($r = -0.64$).

Графит заполняет межзерновые пространства и трещинки, реже трассирует трещинки спайности и раскола в зернах полевых шпатов и кварца, образует в них микровключения. Иногда наблюдаются графитовые “рубашки”, представляющие собой агрегаты микрочешуек графита на поверхности минералов. Крупные чешуйки и “брусочки” графита являются, как правило, агрегированными образованиями, состоящими из более мелких чешуек, наложенными друг на друга. Соотношение графита с другими минералами указывает на более позднее его образование. Корреляционный анализ данных рентгенографического количественного фазового анализа показал наличие положительной связи графита с кварцем ($r = 0.4$) и отрицательной – с серицит-мусковитом ($r = -0.5$).

На микроуровне графит представлен четырьмя основными модификациями: слоисто-пластинчатой, призматической, игольчатой и колломорфной (рис. 2). По результатам рентгеновской дифрактометрии, пластинчатый и призматический графит имеет наиболее упорядоченную кристаллическую структуру, близкую по параметрам к эталонной структуре графита. Рефлексы на I (10l) и II (11l) эллипсах электронограмм четкие, контрастные, фона между ними практически не наблюдается. Значения межплоскостных расстояний $d_{002} = 0.3358-0.3360$ нм и величина $I_{112}/I_{110} = 1.58-1.89$ свидетельствуют о высокой степени совершенства структуры такого графита. Игольчатые частицы обладают менее упорядоченной структурой, нередко формируя трубчатые образования, подобные встречающимся в шунгитах. Для колломорфного графита получены диффузные дифракционные кольца, характерные для аморфных веществ. В графите месторождения преобладают пластинчатые частицы.

Обогащенность углерода сланцев легким изотопом ($\delta^{13}C_{VPDB}$ от -20.6 до -23.8 ‰) указывает на его биогенное происхождение.

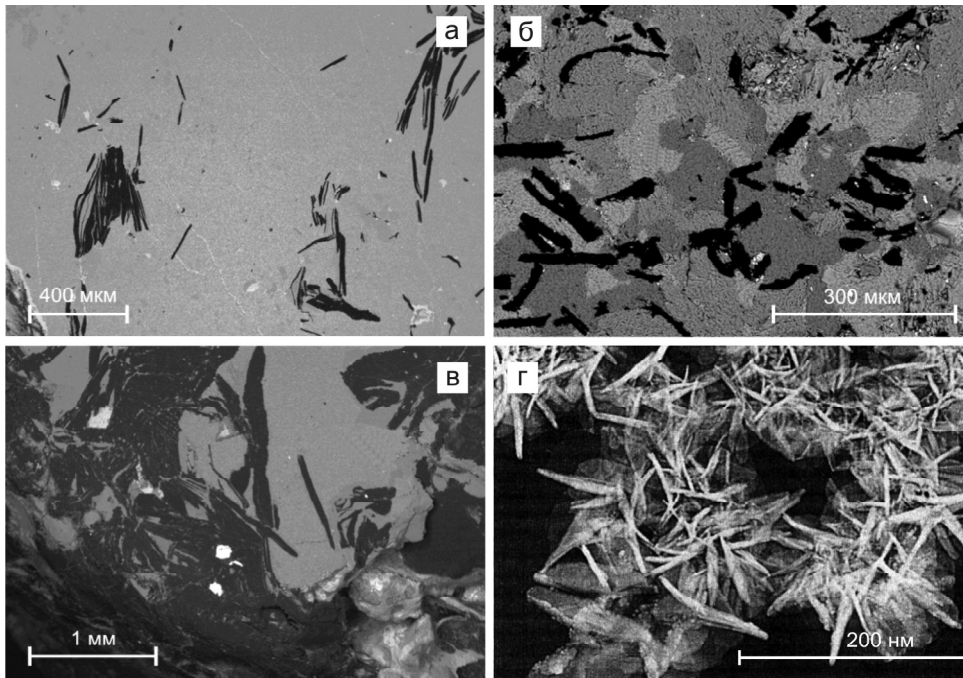


Рис. 2. Формы выделений графита: а – слоисто-пластинчатая в пегматите, б – призматическая в сланцах, в – слоисто-пластинчатая и коллоидная на контакте сланцев с пегматитом, г – игольчатая в сланцах.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГРАФИТА И РЕСУРСЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Технологическими испытаниями в ЦНИИгеолне-руд (г. Казань) показано, что руды месторождения могут быть отнесены к средне- и легкообогатимым. Их обогащение может производиться с использованием как одноступенчатой (например, флотация), так и комплексной технологий [8, 9]. Полученные концентраты имеют крупность от $-1.0+0.2$ мм и менее с содержанием графита 82–90 %. Природная зольность графита в концентрате составляет 6–14 %. Он представлен как чешуйчатыми мономинеральными агрегатами, так и тесными сростаниями с мусковитом (реже биотитом), кварцем, полевыми шпатами, образуя трудноразделимые механическим способом полиминеральные композиты. По крупности чешуек, согласно известным классификациям [5], 99.8 % графита месторождения относится к явнокристаллическому (размер кристаллов, агрегатов больше 0.001 мм) типу. При этом среднее содержание в сланцах крупночешуйчатого графита с размером частиц больше 0.1 мм составляет 2.7 %, мелкочешуйчатого – 17.74 %, а скрытокристаллического (аморфного) графита – 0.04 %.

Чешуйчатый явнокристаллический графит пользуется наибольшим спросом. В графите месторождения Союзное установлено наличие всех шести фракций крупности, которые применяются при выра-

ботке тех или иных марок промышленного графита (электроугольный, элементный, литейный, тигельный, смазочный и др.) [9, 12].

Ранее прогнозные ресурсы графитоносных руд [10, 11] оценивались в 1 млрд т. С учетом возможной глубины отработки месторождения открытым способом до 100 м (рельеф позволяет), параметров рудного поля (60 км²), протяженности рудных тел (до 6–7 км) и их мощности (до 650–700 м) они могут быть увеличены до 2–3 млрд т [14, 16], что позволяет отнести Союзное месторождение к крупнейшим месторождениям графита в мире.

БЛАГОРОДНЫЕ И РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ В ГРАФИТОВЫХ СЛАНЦАХ

Ранее методами рентгено-спектрального анализа в пластах сланцев с аморфным или тонкозернистым графитом отмечались повышенные содержания V (0.6–0.8 %), Mo (до 0.02 %), Cr, Ni, Y, реже Ba, W, Ag, P, а также Au (до 0.04 г/т), Pt (до 0.02 г/т), Pd (до 0.06 г/т) [15]. Полученные нами результаты анализов графитоносных пород месторождения на золото и платиноиды приведены в табл. 2. Из таблицы видно, что наиболее богаты золотом гнейсовидные и мелкочешуйчатые графитовые сланцы. Содержания платиноидов значительно более низкие. Однако истинные концентрации благородных металлов могут быть более высокими [2,

Таблица 2. Платиноиды и золото (мг/т) в графитовых сланцах Союзного месторождения.

	Ru	Rh	Pd	Ir	Pt	Au
Графитовый сланец мелкочешуйчатый	0.62	0.56	1.72	0	16.23	398.31
Графитовый сланец среднечешуйчатый	1.2	1.13	7.36	0.33	10.2	118.51
Графит-кварц-серицитовый сланец	0.59	0	2.98	0	6.69	0
Гнейсовидный графитовый сланец (среднее из 3 анализов)	1.26	0.08	2.39	0.00	0.29	418.09
Графит-полевошпатовый гнейс	0.35	0	0	0	0	111.74
Пегматит графитизированный	0.85	0	0	0	0	33.75

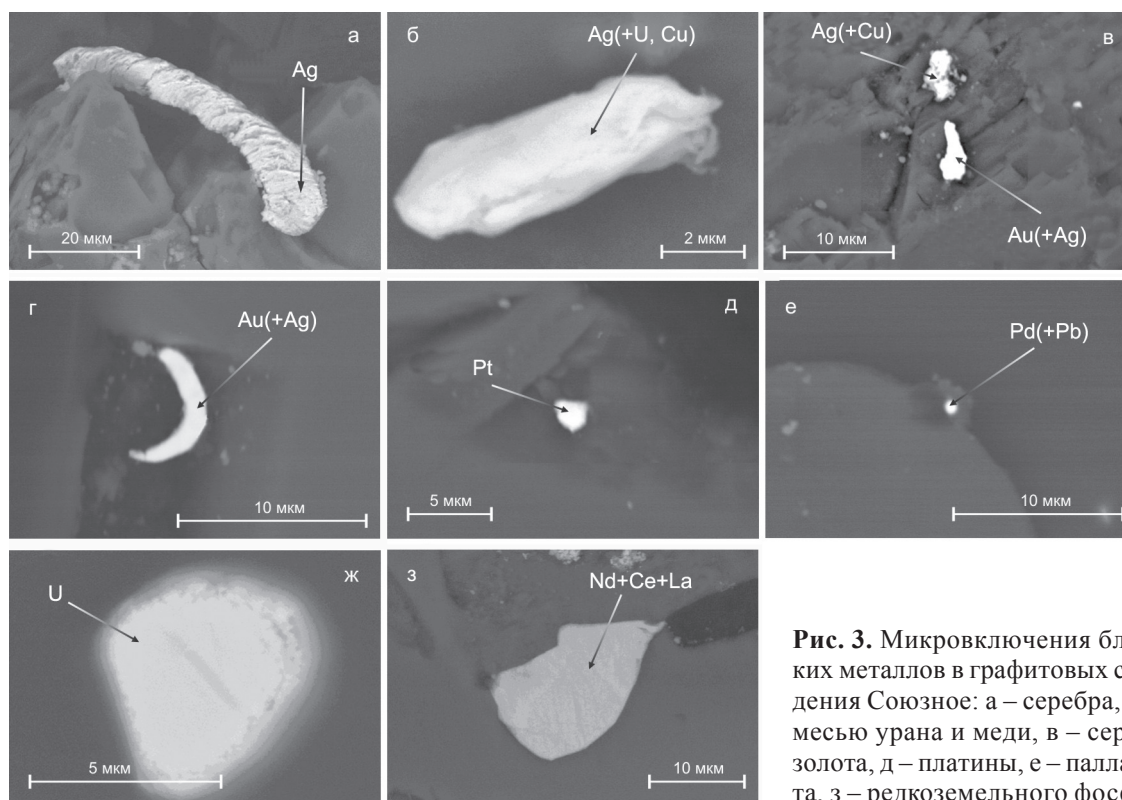


Рис. 3. Микровключения благородных и редких металлов в графитовых сланцах месторождения Союзное: а – серебра, б – серебра с примесью урана и меди, в – серебра и золота, г – золота, д – платины, е – палладия, ж – уранинита, з – редкоземельного фосфорита.

7], что подтверждается результатами электронно-микроскопических исследований [1, 6].

Для графитовых сланцев месторождения характерно широкое распространение микровключений, обогащенных серебром, золотом и платиноидами. Наиболее часто встречаются включения серебра (рис. 3 а-в) размером от долей мкм до 80–100 мкм. Форма их разнообразная – от комковатых агрегатов, скрученных проволочек до массивных, внешне однородных. Содержание Ag в них колеблется от первых единиц до 96.94 %. Более 70 % изученных включений серебра содержат примеси меди (1.39–19.7)*, 50 % – серы (0.32–12.11) и 30 % – хлора (0.77–9.78). Редко во включениях устанавливается примесь Au,

Pb, Hg, Zn, U. Высокое содержание серы в ряде включений указывает на присутствие в них аргентита. Местами включения серебра образуют густую вкрапленность, указывающую на наложенный характер серебряной минерализации.

Включения, обогащенные золотом от 29.9 до 99 % (рис. 3 в-г), встречаются в виде зерен и пластинок неправильной формы размером от долей мкм до 10 мкм. Из примесей для них характерны серебро (2.45–11.33), медь (1.02–19.17), редко хлор (до 5.5).

Мелкие (от долей мкм до 1–2 мкм, рис. 3 д-е) включения платиноидов в изученном материале встречаются значительно реже включений серебра и золота. Содержание Pt в них не превышает 10–37 %, остальное приходится на долю элементов силикатно-карбонатной матрицы, попадающей в область микро-

*Здесь и далее в скобках концентрации элемента в мас. %.

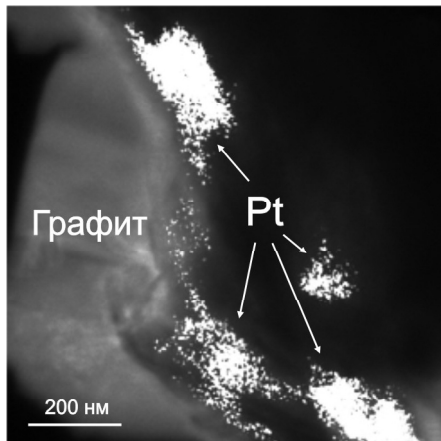


Рис. 4. Результаты EELS картирования чешуек графита (рой белых точек – платина) из сланцев Союзного месторождения.

анализа. Наиболее характерная примесь во включениях палладия – свинец (до 38.1).

Часто отмечаются включения самородной меди, цинка, железа и вольфрама, а также включения редкоземельных фосфоритов (апатитов?). Последние имеют размеры до 40 мкм (рис. 3 з) и содержат Nd (6.3–19.6), Ce (20–45), La (10.6–22.2), U (до 6), Co (до 2.5), P (до 14) с примесью Ag (1.5–3.6), O (30–40), редко C.

Уран обычно присутствует в виде примесей во включениях серебра и фосфоритов, иногда образует собственные включения, близкие по составу к ураниниту (U – до 14, O – до 55, C – до 31; рис. 3 ж). По-видимому, примесью урана обусловлена повышенная радиоактивность графитовых сланцев месторождения.

EELS спектроскопия графитовых чешуек позволила выявить характеристические потери энергии $O_{2,3}$ элемента Pt (рис. 4). Анализ полученных данных позволяет предполагать наличие рассеянной или адсорбированной платины в графите Союзного месторождения.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Изложенные в работе данные говорят о том, что Союзное месторождение является перспективным источником высококачественного кристаллического графитового сырья. Графит месторождения в основном мелкокристаллический с размером чешуек меньше 0,1 мм. Содержание крупночешуйчатого, наиболее ценного, графита составляет в среднем 13–14 % от общей массы графита. Графитовые сланцы месторождения относятся к одному технологическому типу и могут легко обогащаться по стандартным технологиям до концентратов с содер-

жанием полезного компонента 82–90 %. Качество графитового сырья допускает его широкое промышленное использование во многих областях производства. Прогнозные ресурсы графитовых руд достигают 2–3 млрд т, что позволяет отнести Союзное месторождение к крупнейшим месторождениям графита в мире.

В графитовых сланцах отмечены примеси благородных металлов, входящих в состав сланцев в виде микровключений и в графит на наноуровне. Содержание платиноидов и золота может быть оценено в 1–1.5 г/т, однако специфические формы выделения благородных металлов (микровключения и рассеянная в графите) требуют разработки особых методов обогащения таких руд. В период эксплуатации месторождения необходимо проверить возможность их накопления в некоторых продуктах обогащения, как это установлено для месторождений золота в черных сланцах.

Россия ежегодно импортирует графитовой продукции на сумму более 5 млн долларов. В случае промышленной эксплуатации Союзного месторождения будет полностью удовлетворена потребность России в кристаллическом графите, ликвидирована импортная зависимость в нем и, возможно, организован экспорт высокосортной графитовой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердников Н.В., Коновалова Н.С., Зазулина В.Е. Исследование включений благородных металлов в высокоуглеродистых породах методом РЭМ-РСМА // Тихоокеан. геология. 2010. Т. 29, № 2. С. 90–96.
2. Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Кошечева И.Я. и др. О концентрировании благородных металлов углеродистым веществом пород // Геохимия. 1994. № 6. С. 814–825.
3. Васькин А.Ф., Пятилетов В.Г., Соболев Л.П. Новые данные о возрасте Хинганской серии // Стратиграфия докембрия и фанерозия Забайкалья и юга Дальнего Востока. Хабаровск, 1999. С. 37–38.
4. Геология СССР. Т. XIX. Хабаровский край и Амурская область. Ч. I. Геологическое описание. М.: Недра, 1966. С. 94–97.
5. Инструкция по применению классификации запасов к месторождениям графита. М.: ГКЗ СССР, 1984.
6. Комарова В.С., Бердников Н.В., Коновалова Н.С. Особенности исследования микровключений благородных металлов в высокоуглеродистых породах методом РЭМ-ЭДА // Материалы Всерос. конф. «Тектоника, магматизм и геодинамика Востока Азии»: VII Косыгинские чтения, г. Хабаровск, 12–15 сентября 2011 г. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2011. С. 182–185.
7. Курский А.Н., Витоженк Г.Ч. и др. Проблема аналитического определения металлов платиновой группы в рудах черносланцевых комплексов // Платина России. Т. II, кн. 1. М.: АОЗТ «Теоинформмарк», 1995. С. 150–174.

8. Лузин В.П., Лузина Л.П. Методические рекомендации по оценке качества графитового сырья // Экспресс-информационный справочник. Геологическая изученность недр и водопользование. М.: ЗАО "Геоинформмарк", 1999. № 9. С. 16–17.
9. Лузин В.П., Лузина Л.П., Бухмастов В.М. и др. Методика разработки принципиальной схемы обогащения графита / Методические рекомендации. Казань: ЦНИИ геолнеруд. МПР РФ, 1999. № 92. 24 с.
10. Месторождения неметаллических полезных ископаемых Еврейской автономной области. Справочник / А.А. Врублевский и др. Хабаровск-Биробиджан: Приамур. географ. об-во, 2000.
11. Солоненко В.П. Геология месторождений графита Восточной Сибири и Дальнего Востока. М.: Изд-во геол. лит-ры, 1951.
12. Тимесков В.А. Минеральное сырье. Графит / Справочник. М.: ЗАО "Геоинформмарк", 1997.
13. Тимесков В.А., Кузнецов О.Б., Кузнецова В.Г. и др. Минерально-сырьевая база графита, пути расширения и освоения (на примере месторождения Союзное) // Отеч. геология. 2009. № 1. С. 62–68.
14. Черепанов А.А., Кузин А.А. Союзное месторождение графита, новые данные // Тектоника и металлогения Северной Циркум-пацифики и Восточной Азии: Материалы Всерос. конф. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2007. С. 561–564.
15. Черепанов А.А. Платиноносность черносланцевых пород Хабаровского края // Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории Земли: Материалы Всерос. литолог. совещ. Екатеринбург, 14–16 октября 2008 г. Т. 2. Екатеринбург, 2008. С. 384–387.
16. Черепанов А.А. Крупнейшее месторождение графита Союзное // Сб. докл. Всерос. науч. конф. "Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии". Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 2010. С. 136–138.
17. Эйриш Л.В. Геологическая карта СССР. 1: 200 000. Серия Хингано-Буреинская, лист L-52-V: Объясн. зап. М., 1964. 32 с.

Рекомендована к печати Н.А. Горячевым

A.A. Cherepanov, N.V. Berdnikov

Mineralogical and geochemical properties of graphite and precise metal mineralization of the Soyuznoe deposit

Physical and chemical properties of graphite of the Soyuznoe deposit (JAR, Far East of Russia) have been studied. It is shown that the graphite is mainly fine-crystalline with a scale size less than 0.1mm. The most valuable large-scaled graphite contents are 13-14% at the average relative to the all up weight. Graphitic shales of the deposit are easily enriched by using standard technologies and their raw materials quality can be turned to wide industrial use. The predictive resources of the graphitic ores are evaluated as 2-3 bil t enabling to ascribe the Soyuznoe deposit to the largest graphite deposits in the world.

The graphitic shales are marked by the presence of precise metal impurities in the form of microimpurities in the shales and graphite at the nanolevel. The total platinoid and gold contents can be estimated at 1-1.5 g/t. However, specific ways of the precise metal isolation require the elaboration of specific techniques of ore enrichment.

Key words: graphitic shales, precise metal mineralization, Soyuznoe graphite deposit, graphite, Far East Russia.