

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ЧЕРНЫХ СЛАНЦАХ  
ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЕГДЕКАН (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

*А.И. Ханчук<sup>1</sup>, Л.П. Плюснина<sup>1</sup>, Е.М. Никитенко<sup>2</sup>, Т.В. Кузьмина<sup>1</sup>, Н.Н. Баринов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр. 100 лет Владивостоку 159, г. Владивосток, 690022, e-mail: makarovo38@mail.ru

<sup>2</sup>ОАО "Рудник им. Матросова", ул. Пролетарская 12, г. Магадан, 685000, e-mail: Elena\_mih-na@mail.ru

Поступила в редакцию 1 июня 2010 г.

Изучен минералого-геохимический состав углеродсодержащих пород пионерской свиты позднепермского возраста, вмещающих золоторудное месторождение Дегдекан. Определено валовое содержание Au, Ag, Pt и Pd в черных сланцах и выделенных из них легкой, сульфидной и электромагнитной фракциях методом электротермической атомизации. Минеральный состав и фазовый анализ пород изучены на электронном сканирующем микроскопе. Золото присутствует в виде мелких ксеноморфных зерен высокой пробности с содержанием примеси Fe до 4 % ат., а также сростков кюстелита и электрума. Содержание Au и Pt в черных сланцах и рудах варьирует в широком диапазоне (г/т): Au – 0.01–13.12, Pt – 0.001–1.34. Максимальные концентрации золота до 1748 г/т отмечены в сульфидной фракции руд. Pt-содержащие фазы установить не удалось, тогда как содержание Pt около 0.61 мас.% было измерено с помощью электронного микроскопа в углеродистом матриксе. Концентрация Pd в исходных породах стабильно низкая – менее 0.007 г/т. Устойчивое равномерное распределение Ag в изученных породах установлено в пределах 1.14–2.46 г/т. Химический анализ растворимой фракции углеродистого вещества, экстрагированного из черных сланцев, показал присутствие в его составе: Au – 0.375, Ag – 3.68, Pt – 0.147, Pd – 0.052 г/т. Сделан вывод о ресурсной роли углеродсодержащих пород пионерской свиты в накоплении благородных металлов, в то время как промышленные концентрации последних формируются при наложении метаморфно-гидротермальных процессов.

**Ключевые слова:** черные сланцы, золото, серебро, платина, палладий, месторождение Дегдекан, Магаданская обл., Северо-Восток России.

В связи с истощением запасов благородных металлов на месторождениях традиционного типа в XXI веке ведущую роль начинают играть крупнообъемные месторождения, локализованные в черносланцевых толщах, пригодных для открытой отработки [2, 5]. Примеры известных золоторудных месторождений черносланцевой формации многочисленны: Мурунтау, Сухой Лог, Наталкинское, Нежданинское, Олимпиадинское, Бендиго, Хомстейн и др [5]. Отмечено, что основные золотороссыпные регионы России сложены черносланцевыми толщами. В последние годы практически во всех золоторудных месторождениях черносланцевой формации обнаружены металлы платиновой группы (МПГ), что значительно увеличивает их практическое значение. По представлению ряда исследователей [12], золото-платиноидные место-

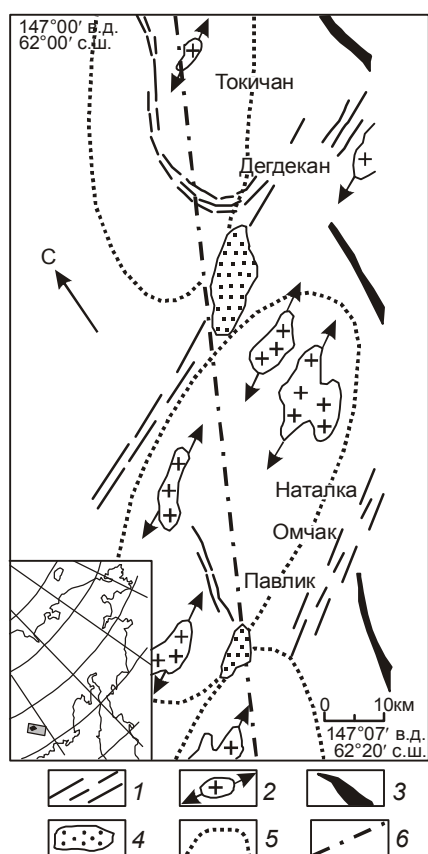
рождения черносланцевой формации расположены в активных зонах перехода континент–океан и приурочены к турбидитам континентального склона и его подножия, включая субдукционно-аккреционные призмы.

Наиболее богаты по россыпной и коренной золотоносности черносланцевые комплексы Верхояно-Колымской складчатой области. Это золоторудные месторождения Аян-Юряхского антиклинория Верхояно-Чукотской складчатой области: Наталкинское, Омчак, Павлик, Токичан, Дегдекан и др. Для месторождения Дегдекан отсутствуют данные по сопутствующей минерализации МПГ и серебра. В связи с этим целью данной статьи является получение минералого-геохимической характеристики золотого оруденения и выяснение перспектив этого месторождения на другие благородные металлы.

## ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РУДНОГО ПОЛЯ

История геологического изучения месторождения Дегдекан, его геологическое строение и региональная позиция детально рассмотрены в работе [10]. Месторождение расположено в северо-западной части Аян-Юрхского антиклинория Верхояно-Чукотской складчатой области и приурочено к ядру Тенькинской антиклинальной складки. Рудовмещающая толща сложена терригенными морскими глубоководными отложениями пионерской свиты позднепермского возраста, которые, по мнению В.К. Михайлова, относятся к углеродистой алевро-песчано-глинистой турбидитной формации континентального склона [10].

На представленной схеме Тенькинского разлома с оперяющимися разнонаправленными разломами (рис.1) выделена группа золоторудных объектов



**Рис. 1.** Принципиальная схема строения Тенькинского глубинного разлома, по [5].

1 – свиты даек и зоны разломов, 2 – тела гранитоидов (возраст 142–130 млн лет; стрелками показана ориентировка длинных осей), 3 – оси антиклинальных складок, 4 – четвертичные впадины, 5 – контуры рудных узлов, 6 – ось глубинного разлома.

(Павлик, Наталка, Омчак, Токичан, Дегдекан и др.), ориентированных вдоль прямой линии северо-западного простирания. Вмещающими породами являются интенсивно дислоцированные черные сланцы общей мощностью 1350–2000 м. Рудные тела представляют собой минерализованные зоны смятия, рассланцевания и дробления в переслаивающихся глинистых алевролитах и алевролитистых аргиллитах с линзами мелкозернистых песчаников.

Из магматических пород выделяются нерабохапчинский комплекс малых интрузий ( $J_3nb$ ), представленный дайками кислого и среднего состава, а также позднемеловые дайки риолитов и риодацитов, подверженных наложенной пропилитизации. В пределах рудного поля осадочные породы метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации, а также проявлены предрудные метасоматические изменения альбит-кварцевой ассоциации.

Рудоконтролирующая Дегдеканская взбросо-надвиговая зона расположена в истоках ручья Дегдекан с богатой россыпью золота. Породы пионерской свиты смяты в сложную антиклинальную складку, являющуюся структурой третьего порядка по отношению к Тенькинской антиклинали. Напряженная пликативная тектоника способствовала формированию зон повышенной трещиноватости, впоследствии частично выполненных рудоносным штокверком. Выделяется прожилковый тип рудной минерализации с неравномерным распределением золота и мощностью кварцевых жил до 0.5 м. Более перспективным является приразломный тип, который имеет повышенную мощность зон до 50 м со средним содержанием Au около 1 г/т. Абсолютный возраст золотого оруденения Дегдеканского рудного поля оценивается по данным U-Pb-SHRIMP в 133–137 млн лет, а временной интервал формирования гранитно-метаморфического купола, в котором размещено месторождение, составляет 130–142 млн лет [1]. Прогнозные ресурсы золота на месторождении оцениваются в 400 т [10].

### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ ЧЕРНЫХ СЛАНЦЕВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЕГДЕКАН

Для анализа минеральных ассоциаций и состава вмещающих углеродистых алевросланцев были отобраны пробы из северо-западной, юго-восточной и центральной части рудного поля. Концентрации петрогенных элементов (табл. 1) и микроэлементов (табл. 2) определены на рентгенофлуоресцентном сканирующем спектрометре S4 Pioneer в ДВГИ ДВО РАН. Обращает внимание близость состава трех образцов, отобранных в разных частях рудного поля.

Таблица 1. Химический состав углеродистых алевросланцев пионерской свиты (% мас.)\*

№ обр.	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	Cl
12	50.08	0.70	18.20	4.49	0.02	1.66	1.40	0.33	2.79	0.18	0.94	0.011
17	57.59	0.57	14.54	3.71	0.03	0.78	0.37	2.15	2.12	0.21	0.20	0.008
31	60.85	0.69	16.97	4.26	0.07	1.34	1.48	1.27	3.68	0.21	0.35	0.005

\*Рентгено-флуоресцентный анализ, как и в табл. 2.

Таблица 2. Элементы-примеси в углеродистых алевросланцах (г/т).

Элемент	Номера проб		
	12	17	31
Ba	579	488	564
V	139	97	144
Cr	97	83	105
Ga	17	16	21
Ni	37	26	27
Cu	25	25	19
Zn	73	81	78
As	5400	15000	250
Pb	37	31	21
Th	8	8	9
U	2	2	2
Rb	78	62	115
Sr	504	545	158
Y	23	24	29
Zr	161	166	179
Nb	12	12	14

Анализ содержания в них углерода осуществлен на CHNS- анализаторе Euro Vector EA 3000 в институте химии ДВО РАН в ряде образцов из вмещающих пород месторождений Дегдекан и Омчак. Оказалось, что вариации содержания углерода в них заключены в узких пределах от 2.10 до 3.27 мас. %. Более низкие концентрации углерода наблюдаются в окварцованных метасоматитах, где они составляет 1.74 мас. %. Отмечается монотонный характер распределения микроэлементов в разных частях рудного поля. Некоторые вариации отмечены только в содержании мышьяка от 0.025 до 1.5 мас. % в сульфидизированных и окварцованных метасоматитах.

Съемка образцов черных сланцев на электронном сканирующем микроскопе EVO-50 XVP позволила установить широкий спектр рудных и аксессуарных минералов. Для этого использовали свежие сколы образцов, полученные в агатовой ступке, что исключало засорение материала металлической стружкой. Присутствие углеродистого вещества исключало возможность использования полировки относительно мягких поверхностей образцов.

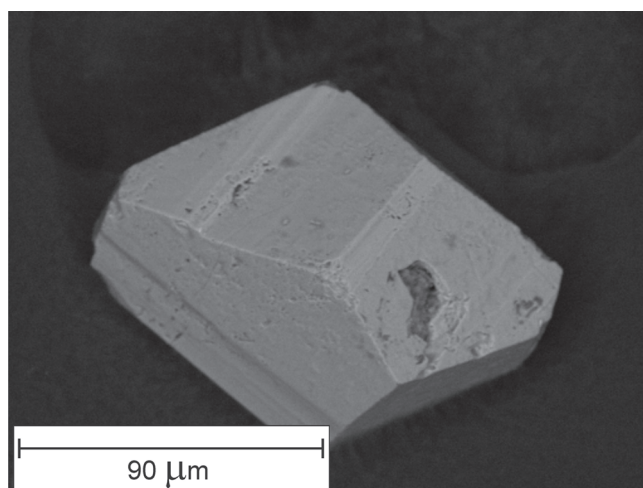


Рис. 2. Идиоморфный монокристалл мышьяковистого пирита из кварц-сульфидного прожилка (съемка на обратно отраженных электронах). (Состав : S – 66.33, Fe – 31.83, As – 1.37, Ni – 0.47 ат.%).

В составе сульфидов количественно преобладают пирит и арсенопирит. Пирит встречается как в виде мелких ксеноморфных зерен от 1 до 3 мкм, так и в виде крупных идиоморфных кристаллов гидротермального генезиса (рис. 2). По составу различается пирит, отвечающий стехиометрической формуле FeS<sub>2</sub> (Fe – 31.89 %, S – 68.11 ат. %), который образует мелкие кластогенные зерна, и кристаллический пирит с примесью мышьяка до 1.69 ат. %. В крупных кристаллах гидротермального пирита обычно встречаются включения магнетита, ильменита, самородного никеля, интерметаллидов, самородного золота, серебра, апатита, сфена, галенита, халькопирита и реже сфалерита, захваченные пиритом в процессе роста.

Арсенопирит встречается несколько реже пирита и обычно имеет состав, отвечающий стехиометрии FeAsS: S – 32.77, Fe – 35.22, As – 28.79 ат. %. В ряде случаев по арсенопириту развивается скородит FeAsO<sub>4</sub>. Присутствие золота ни в арсенопирите, ни в скородите в процессе съемки на электронном микроскопе не было отмечено.

Акцессорные минералы представлены шеелитом, содержащим существенную изоморфную примесь Sr до 6.77 ат. %. Из других акцессорных минералов часто встречаются апатит, циркон и монацит в мелких кластогенных зернах до 2 мкм величиной. Из них наиболее распространен монацит состава  $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd})\text{PO}_4$  с примесью Ag – 0.40, Fe – 0.42, Ca – 0.42 ат. %.

Другую группу акцессорных минералов составляют тяжелые минералы: магнетит, иногда ванадий-содержащий, ильменит, интерметаллиды Fe-Ni-Cr состава, хромит, никелин и самородный никель. Они представлены ксеноморфными зернами с размером, варьирующим от 1 до 5 мкм (рис. 3). Их присутствие отражает участие базитов и ультрабазитов в области сноса, формирующего терригенный комплекс пионерской свиты. Хорошая сохранность этих фаз фиксирует восстановительный режим углеродсодержащей среды осадконакопления. Известно, что обогащение глинистой фракции тяжелыми минералами осуществляется на всех стадиях дезинтеграции пород фрагментов океанического дна [7].

В кварц-углеродистом матриксе присутствуют вторичные минералы: железистый хлорит, карбонаты, серицит и барит в тесной ассоциации с кварцем и пиритом. Барит ассоциирует с пиритом и кварцем, образует крупные пластинчатые кристаллы величиной до 500 мкм и более и наиболее распространен в центральной части рудного поля. Характерно неравномерное распределение перечисленных фаз, нередко отмечаются скопления и прожилки хлорита, кварца и карбонатов, что свидетельствует об их метасоматическом происхождении. Серицит характеризуется более равномерным распределением в кварц-серицит-углеродистом матриксе.

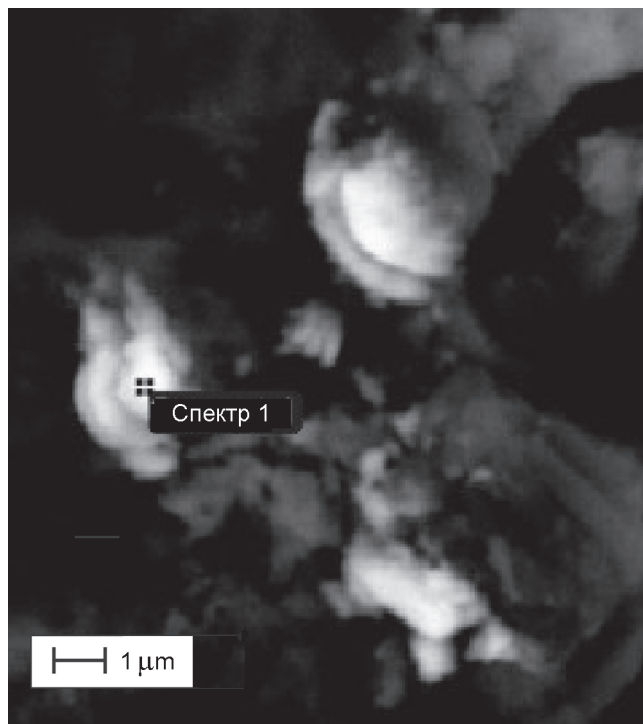


Рис. 3. Включения обломочных зерен Ni-Cr-Fe интерметаллидов в кварц-углеродистом матриксе.

#### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ЧЕРНЫХ СЛАНЦАХ И РУДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЕГДЕКАН

В пределах рудного поля развиты минерализованные зоны, представляющие систему кварц-сульфидных жил и прожилков в черных сланцах мощностью от 1 до 10 см. В них были отобраны пробы 17, 12 и 28, содержание в которых Au, Ag, Pt и Pd приведено в табл. 3 и 4. При удалении от рудных зон чер-

Таблица 3. Содержание золота и серебра (г/т) в разных фракциях черных сланцев.

№ пробы	Золото				Серебро	
	ИП*	ЛФ	СФ	ЭФ	ИП	ЛФ
10	0.02	0.03	н/о	н/о	1.17	2.46
12	н/а	9.16	362.4	-	1.81	2.33
17	н/а	6.13	1748.48	-	1.27	1.71
28 <sup>1</sup>	13.12	н/о	70.24	1.20	1.18	0.77
28 <sup>2</sup>	н/о	0.17	н/о	н/о	1.10	1.23
29	0.16	4.63	-	-	1.22	1.40
31	1.06	0.04	4.33	0.32	1.11	0.98
34	3.60	1.44	59.36	-	1.43	1.65
36	2.48	0.15	4.95	0.94	1.17	2.46

Примечание. ИП – исходная порода; фракции: ЛФ – легкая, СФ – сульфидная, ЭФ – электромагнитная; н/о – не обнаружено, н/а – не анализировалось; прочерк дан при отсутствии необходимого для анализа количества сульфидной и электромагнитной фракций.

Таблица 4. Содержание платины и палладия в разных фракциях черных сланцев (г/т).

Проба	ИП*		ЛФ		СФ		ЭФ	
	Pt	Pd	Pt	Pd	Pt	Pd	Pt	Pd
12	0.12	0.03	1.24	0.25	-	-	-	-
17	1.34	0.04	0.75	0.11	-	-	-	-
28 <sup>1</sup>	н/а	н/а	1.96	0.09	3.43	0.02	0.25	0.11
28 <sup>2</sup>	н/о	н/о	0.27	0.11	-	-	-	-
29	0.03	0.011	0.27	0.18	-	-	-	-
31	н/о	н/о	0.01	0.16	0.03	0.09	0.05	0.08
34	н/о	н/о	0.06	0.19	-	-	-	-
36	н/о	н/о	н/о	0.07	н/о	н/о	0.07	0.08

Примечание. Принятые сокращения см. табл. 3.

ные сланцы приобретают облик тонкокристаллических аспидных сланцев, лишенных кварц-сульфидных прожилков. Им соответствуют пробы 29 и 36 в табл. 3 и 4. Для минерализованных зон характерны прожилковидные и брекчиевидные текстуры, которые указывают на образование более поздних минеральных ассоциаций (кварц-карбонат-сульфидных) вследствие дробления ранних образований аспидных алевросланцев. В зонах дробления развиты также углеродистые тектониты и милониты с зеркалами скольжения и содержанием сульфидов до 3 % и кварца до 6 % (проба 10).

Основной задачей нашего исследования было количественное определение содержания Au, Ag, Pt и Pd в отобранных пробах. Их присутствие было подтверждено с помощью химического анализа методом электротермической атомизации на приборе АА-6800 с предварительной экстракцией Au, Pt и Pd в алкиланилин при чувствительности анализа 0.002 г/т.

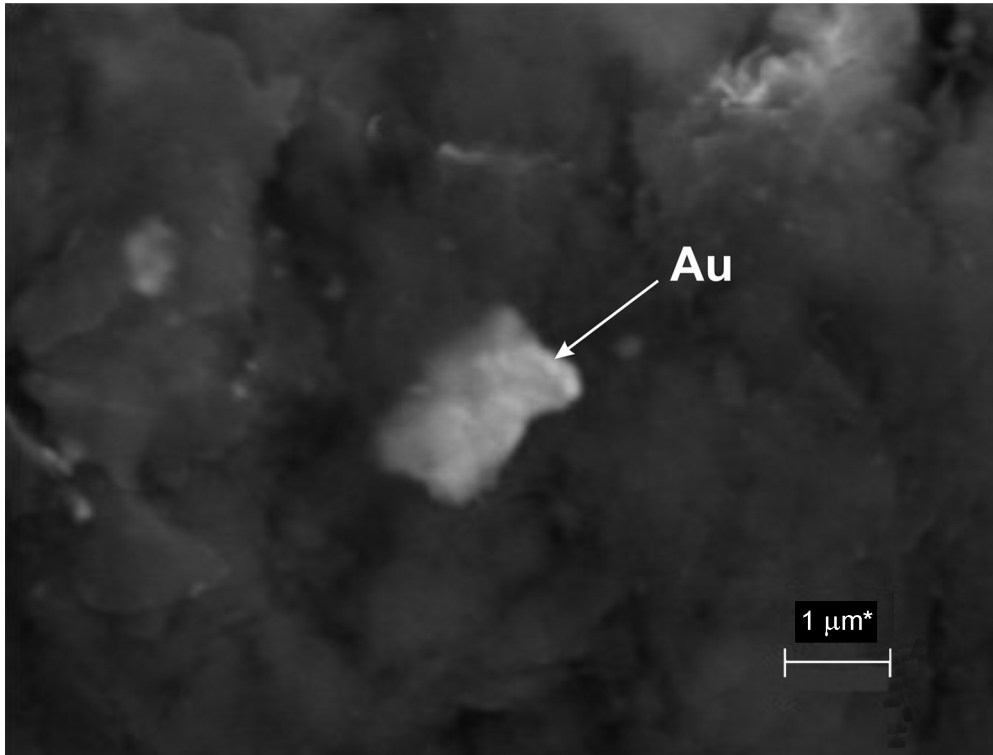
Для оценки распределения благородных металлов в минерализованных черных сланцах выполнено фракционирование проб на гравитационно легкую (ЛФ), не электромагнитную сульфидную (СФ) и электромагнитную (ЭФ) фракции. Магнитная фракция была выделена в отдельных пробах в количестве, недостаточном для химического анализа, в связи с чем не анализировалась. ЛФ состоит из тонкозернистого углеродисто-хлорит-серицит-кварцевого агрегата. СФ включает пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит и халькопирит, ЭФ – магнетит, ильменит, самородные железо и никель, интерметаллиды V-Cr-Ni-Fe состава, хромиты с повышенным содержанием железа.

Содержание в этих фракциях Au, Ag, Pt и Pd (табл. 3 и 4), отражает неравномерное распределение Au и Pt в исходных породах (ИП) и их фракциях. Наибольшие колебания концентраций наблюдаются

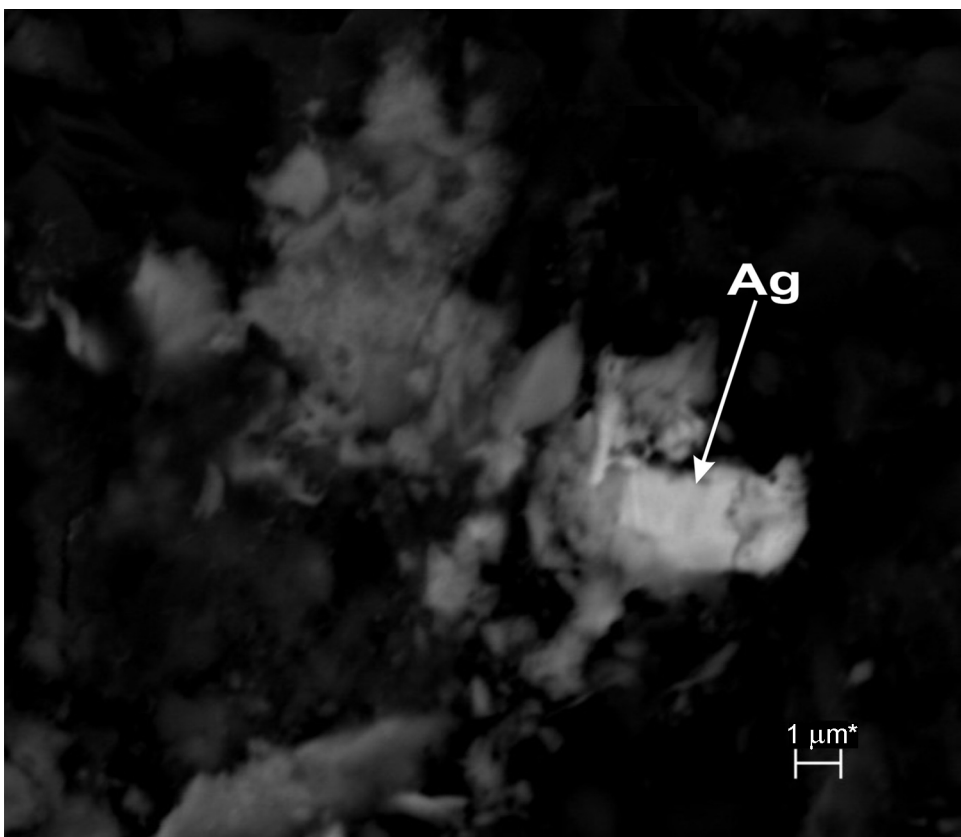
у золота, максимальные содержания которого установлены в СФ и в кварц-сульфидных жилах достигают ураганных значений – 1748 г/т. В работе [9] отмечено еще более высокое содержание Au – около 8067 г/т в сульфидах руд Дегдекана. На Наталкинском месторождении оптимальные содержания золота также были установлены в сульфидной фракции руд [6, 11]. Золото присутствует в виде субпластинчатых зерен величиной до 2 мкм (рис. 4), агрегатов микрокристаллов электрума и кюстелита и дисперсных ультратонких включений в пирите. Нередко наблюдаются сростки кристаллов Au-Ag интерметаллидов до 5 мкм величиной с переменным содержанием золота и серебра.

В отличие от золота серебро обладает устойчивым равномерным распределением. Все вариации содержания Ag как в ИП, так и ЛФ заключены в пределах одного порядка (табл. 3). Съёмка на электронном микроскопе показала присутствие Ag в виде мелких зерен самородного серебра с примесью Fe от 3 до 5.54 ат. % (рис. 5), кристаллов электрума (Au – 49.71, Ag – 46.98 ат. %) и кюстелита (Ag – 62.87, Au – 32.40 ат. %).

Таким образом, в минеральном составе черных сланцев месторождения Дегдекан выделяются две группы минералов: первая включает минералы терригенного комплекса (самородные золото и серебро, акцессорные циркон, монацит и апатит, осадочный пирит, магнетит, ильменит, хромит, интерметаллиды Fe, Ni, Cr), вторая – минералы гидротермального генезиса (сульфиды, кюстелит, электрум, шеелит, барит, карбонаты и др.). При анализе на электронном микроскопе было отмечено неоднократно присутствие брома от 0.67 до 3.27 мас. % в пирите, арсенопирите, скородите, шеелите. Отсутствие Br в минералах первой группы позволяет предположить, что появление брома только в минералах второй группы не является инструментальным артефактом, а отражает геохимичес-



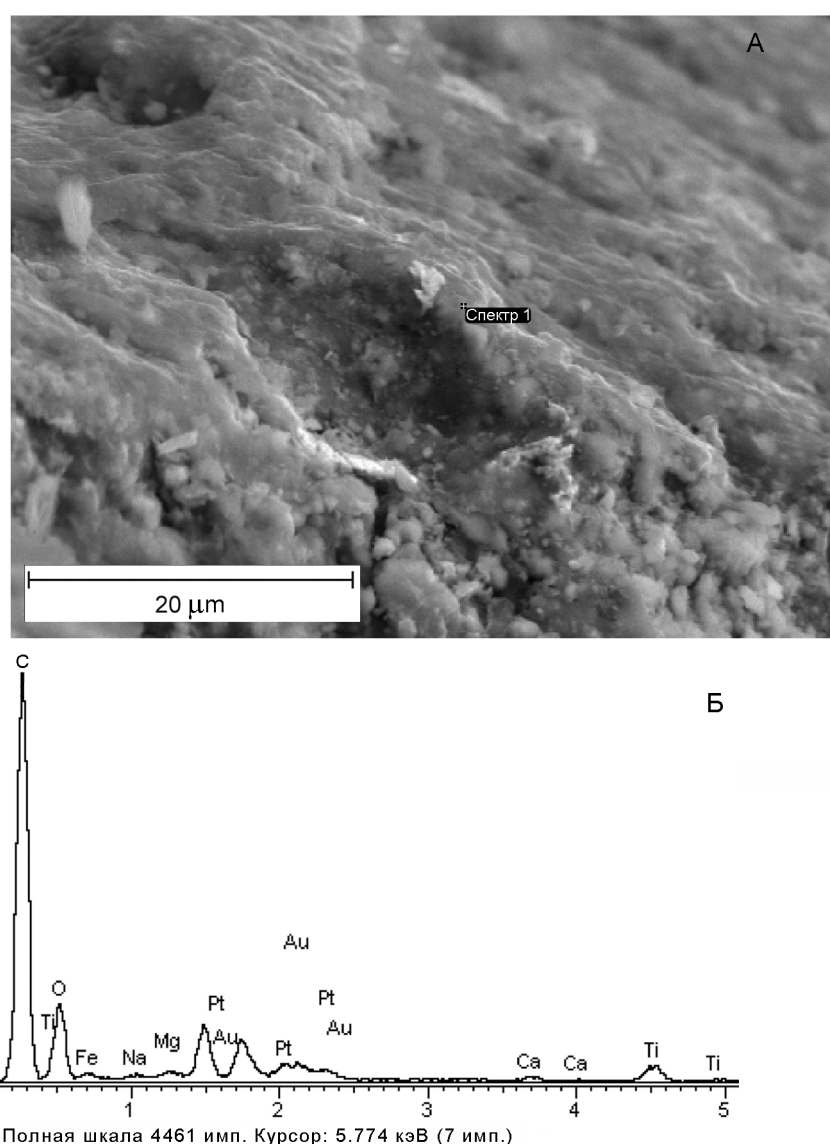
**Рис. 4.** Пластинчатый кристалл самородного золота в углеродистом матриксе (съемка на обратно отраженных электронах). (Состав: Au – 96.90, Fe – 3.10 ат %).



**Рис. 5.** Агрегат микрокристаллов самородного серебра в углеродистом алевросланце (съемка на обратно отраженных электронах). (Состав: Ag – 95.83, Fe – 4.17 ат. %).

кую специфику гидротермального флюида на месторождении Дегдекан. Ранее при анализе черных сланцев митрофановской серии Ханкайского террейна нами было отмечено присутствие йодирита (AgI) и йодобромидита (AgIBr) с содержанием I до 17 мас. % и Br – 10.19 мас. %. В метасоматитах месторождения Дегдекан наряду с бромом наблюдается примесь серебра, что позволяет предполагать присутствие микровключений, возможно на наноуровне, бромидита серебра (AgBr). Несмотря на значительную концентрацию брома в водах океана (0.065 % мас.), этот элемент редко встречается в минералах [4]. В связи с этим появление брома в рудном поле Дегдекана представляет определенный минералогический интерес.

Поиски минералов-концентраторов Pt и Pd проводились на микрозонде и электронном микроскопе. Однако в связи с их низким валовым содержанием чувствительность методов не позволила обнаружить самостоятельных фаз МПГ и их присутствие в сульфидах. Содержание Pt около 0.61 мас.% было установлено в составе углеродистого матрикса при съемке на электронном микроскопе (рис. 6). В связи с этим появилась необходимость изучения содержания благородных металлов в углеродистом веществе (УВ). Для этого на аппарате Сокслет экстрагировали в течение 80 часов в этанол-бензольной смеси растворимую органическую фракцию. Полу-



**Рис. 6.** Микрофотография углеродистого матрикса (съемка на вторичных электронах).

А – кварц-углеродистый матрикс и положение точки спектра 1; Б – спектр 1 матрикса (состав, в мас. %: C – 72.0, O – 19.75, Na – 0.21, Mg – 0.17, Al – 1.76, Si – 1.06, P – 0.35, S – 0.32, Ca – 0.20, Ti – 1.48, Fe – 0.81, Pt – 0.61, Au – 1.27).

ченная фракция исследовалась на инфракрасном спектрометре Nicolet 6700. Ее ИК-спектр характеризуется присутствием интенсивных полос поглощения ароматических и алифатических структур. Последние представлены колебаниями связей С-Н в метильных  $\text{CH}_3$  ( $2956.8, 1380.9 \text{ см}^{-1}$ ), метиленовых  $\text{CH}_2$  ( $2924.8, 2854.6, 1458.1 \text{ см}^{-1}$ ), СН ( $2894.5 \text{ см}^{-1}$ ) функциональных группах. Ароматические группы характеризуются интенсивным поглощением валентных колебаний связей  $\text{C}=\text{C}$  ароматического кольца ( $1510.8, 1588.2 \text{ см}^{-1}$ ). Волновое число  $1588.2 \text{ см}^{-1}$  указывает на присутствие различных заместителей, сопряженных с р-электронной системой ароматического соединения, что подтверждается интенсивным поглощением в области ниже  $900 \text{ см}^{-1}$  ( $877.2, 838.3, 787.2, 746.8, 721.3 \text{ см}^{-1}$ ). Это свидетельствует о наличии конденсированных ароматических структур. Присутствие карбоксил-ионов  $\text{COO}^-$ , способных к присоединению металлов, характеризуется поглощением при  $1663.1$  и  $1416 \text{ см}^{-1}$ . На ИК-спектре отмечаются полосы поглощения S-содержащих молекулярных групп: тиофена (S-H) –  $921.9 \text{ см}^{-1}$ , RSO-OH –  $1027.5 \text{ см}^{-1}$ , отражающих присутствие в породах органической серы в составе осадочных сульфидов. Следует отметить идентичность ИК-спектра с полученным ранее для УВ, присутствующего в рудах Наталкинского месторождения [10]. Отсутствие видимых выделений минеральных фаз, содержащих МПГ, позволяет предполагать вхождение платиноидов в металлорганические кластерные формы, о чем свидетельствует присутствие на ИК-спектре УВ различных заместителей, сопряженных с ароматическими функциональными группами.

Химический анализ растворимой фракции УВ выполнен методом электротермической атомизации, показавшем следующие концентрации благородных металлов: Au – 0.375, Ag – 3.678, Pt – 0.147, Pd – 0.052 г/т. Сравнение этих данных с их содержанием в других фракциях углеродистых алевролитов (табл. 3 и 4) позволяет заключить, что высокая концентрация серебра в УВ свидетельствует об его сорбции на УВ в процессе осадконакопления. Содержание Au, Pt и Pd в УВ существенно меньше, чем в исходной пробе и сульфидной фракции. Следовательно, их интегральная концентрация в черных сланцах месторождения Дегдекан обусловлена наложением более поздних гидротермальных процессов. Ремобилизация металлов из вмещающих пород гидротермальными растворами может привести к существенному их перераспределению и переотложению на геохимических барьерах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные подтверждают полигенный, полихронный характер минерализации благородных металлов в черных сланцах месторождения Дегдекан. Состав самородного золота и серебра с аналогичной устойчивой примесью только железа свидетельствует об их сорбции на аморфные УВ и характеризует среду осадконакопления с повышенным содержанием Fe. Кристаллизация Au-Ag интерметаллидов может быть обусловлена наложением метаморфогенно-гидротермальных процессов, приводящих к укрупнению и перекристаллизации самородного золота и серебра в условиях повышенных температур.

Изначальная обогащенность благородными металлами отдельных литолого-стратиграфических уровней черных сланцев Аян-Юряхского антиклинория отмечена в работе [3], что, по мнению авторов, служило предпосылкой к последующему концентрированию на таких уровнях крупных месторождений золота в ходе формирования орогенного пояса. Таким образом, генезис золоторудного месторождения Дегдекан может быть определен как стратиформно-метаморфогенно-гидротермальный. УВ служит концентратором и консервантом металлов в течение длительного времени накопления терригенных осадков пионерской свиты до проявления интенсивных гидротермальных процессов, приводивших к разрушению металлоорганических комплексов и перераспределению металлов в сульфиды и самостоятельные рудные фазы. Накопление тонкого кластогенного золота и серебра, поступающих с терригенным материалом и органическими остатками в бассейн седиментации, является фактором локализации крупнообъемных золоторудных месторождений черносланцевого типа [2]. Высокая фоновая золотоносность черносланцевых толщ рассматривается обычно в качестве “ресурсного потенциала” [8]. В то же время, более позднее метаморфогенно-гидротермальное перераспределение благородных металлов приводит к формированию богатого оруденения с промышленными запасами золота.

Присутствие во всех пробах тяжелых металлов и хромитов отражает участие базитов и ультрабазитов в области сноса континентального склона. По видимому, они являются предполагаемым источником Pt в рудах месторождения Дегдекан. Акцессорные минералы, включающие шеелит, циркон, монацит, а также повышенное содержание в углеродистых алевросланцах стронция, мышьяка, циркония (табл. 2) фиксируют влияние гранитоидов и постмагматических флюидов, генерируемых ими.



Остается нерешенным вопрос о вхождении Pt и Pd в неустановленные минеральные фазы. Полученные данные о содержании Pt в изученных породах и рудах от 0.01 до 1.34 г/т и равномерное распределение во всех пробах серебра до 4 г/т расширяют перспективы месторождения Дегдекан на комплексную добычу благородных металлов. Следует иметь в виду, что выполненный нами химический анализ минерализованных черных сланцев с предварительным термоокислительным разложением может приводить к значительным потерям МПГ в том случае, если они образуют металлоорганические соединения. При вхождении платины в рудные или самостоятельные фазы потери в процессе химического анализа могут быть минимизированы.

### Благодарности

Авторы искренне признательны д.г.-м.н. Н.А. Горячеву за полезное обсуждение рукописи статьи. Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума ДВО РАН (Проекты 09-2-СУ-08-002 и 09-III-A-08-415).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акинин В.В., Прокопьев А.В., Торо Х.Ю и др. U-Pb-SHRIMP –возраст гранитоидов батолитового пояса (северо-восток Азии) // Докл. РАН. 2009. Т. 426, № 2. С. 216–221.
2. Арифуров Ч.Х. Золотоносность черносланцевых толщ и обстановки формирования рудных тел // Руды и металлы. 2010. № 1. С. 10–21.
3. Астахов А.С., Горячев Н.А., Михалицына Т.И. Об условиях формирования обогащенных золотом горизонтов рудовмещающих черносланцевых толщ (на примере пермских и современных морских отложений северо-востока Азии) // Докл. РАН. 2010. Т. 430, № 2. С. 212–217.
4. Берри Л., Мейсон В., Дитрих Р. Минералогия. М.: Мир, 1987. 592 с.
5. Буряк В.А., Михайлов Б.К., Цымбалюк Н.В. Генезис, закономерное размещение и перспективы золото- и платиноносности черносланцевых толщ // Руды и металлы. 2002. № 6. С.25–36.
6. Гончаров В.И., Ворошин С.В., Сидоров А.С. Наталкинское золоторудное месторождение. Магадан: СВКНИИ, 2002. 230 с.
7. Грамберг И.С., Горяинов И.Н., Смекалов А.С. О пределе растворимости платины в водах океана в связи с проблемой абиссального россыпеобразования // Докл. РАН. 1996. Т. 349, № 3. С. 378–380.
8. Ермолаев Н.П., Созинов Н.А. Стратиформное рудообразование в черных сланцах М.: Наука, 1986. 158 с.
9. Литвиненко И.С. Условия нахождения и типоморфизм самородного золота в рудах Дегдеканского месторождения в черносланцевых толщах // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 6. С.691– 697.
10. Михайлов Б.К., Стружков С.Ф., Наталенко М.В., Цымбалюк Н.В. Многофакторная модель крупнообъемного месторождения Дегдекан (Магаданская область) // Отеч. геология. 2010. № 2. С. 20–31.
11. Плюснина Л.П., Ханчук А.И., Гончаров В.И. и др. Золото, платина и палладий в рудах Наталкинского месторождения // Докл. РАН 2003. Т. 391, № 3. С. 383– 387.
12. Ханчук А.И., Иванов В.В. Мезо-кайнозойские геодинамические обстановки и золотое оруденение Дальнего Востока России // Геология и геофизика. 1999. Т. 40, № 11. С. 1635–1645.

Рекомендована к печати Н.А. Горячевым

*A.I. Khanchuk, L.P. Plyusnina, Ye.M. Nikitenko, T.V. Kuzmina, N.N. Barinov*

### Noble metal distribution in black shales of the Degdekan gold ore deposit (Northeast Russia)

The mineral and chemical composition of carbon-bearing rocks of the Late Permian Pionerskaya Formation, encompassing the Degdekan gold ore deposit, has been studied. Au, Ag, Pt and Pd bulk content of black shales and the light, sulfide and electromagnetic fractions were measured by the method of electrothermal atomization. The mineral composition and the phase analysis of the rocks were studied on the electron scanning microscope. Gold is present as fine xenomorphic grains of high assay standard of gold with a Fe admixture content of about 4 mass%, and also as aggregates of kustelite and electrum. Au and Pt content of black shales and ores widely ranges (ppm): Au, 0.01–13.12; and Pt, 0.001–1.34. Au maximal concentrations up to 1748 ppm were noted in the sulfide fraction. Attempts to establish Pt-bearing phases failed, whereas Pt content of about 0.61 mass.% was measured by the electron microscope in carbonaceous matrix. Pd concentration in the ores was stably low - < 0.007 ppm. The stable uniform distribution of Au in the study rocks is limited by the values 1.14 to 2.46 ppm. The chemical analysis of the soluble fraction of carbonaceous matter extracted from the black shales indicated the presence of Au 0.375, Ag 3.68, Pt 0.147, and Pd 0.052 ppm in its composition. It has been concluded that the carbon-bearing rocks of the Pionerskaya Formation plays a resource role in noble metals accumulation, whereas commercial concentrations of the latter are formed in the course of metamorphic-hydrothermal processes.

**Key words:** black shales, gold, silver, platinum, palladium, Degdekan deposit, Magadan region, Northeast Russia.