

Оценка Au-Pt-Pd-Ni в рудах типовых месторождений (Наталка, Дегдекан) в черносланцевых толщах Яно-Колымского золоторудного пояса

Н. А. Горячев (руководитель проекта), О. Т. Соцкая, Т. И. Михалицына, Е. М. Горячева, А. П. Маньшин

СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан

Одной из фундаментальных проблем в области геологии золоторудных месторождений представляется выявление характера и причин платино- и палладиенности золоторудных месторождений установленной и для ряда месторождений Дальнего Востока Азии [Гончаров и др., 1995; Моисеенко и др., 2004]. Геохимическая специфика золоторудных месторождений черносланцевых толщ на элементы платиновой группы (ЭПГ), определенная разными методами [Буряк и др., 2001, 2005; Гончаров и др., 1995], требует установления минеральных форм платиноидов и минералов – типоморфных спутников платиноидов, прежде всего минералов никеля. Выявление платиновой минерализации в рудах месторождения Сухой Лог [Лаверов и др., 1997] показывает возможность таких же находок и в рудах месторождений Востока России. Уровень концентрации Pt и Pd в рудах этих месторождений достигает вполне промышленных содержаний, что ставит вопрос об их специальном исследовании для возможного перевода в разряд комплексных золото-платиноидных месторождений. Это и обусловило проведенные в рамках проекта исследования, сконцентрированные на месторождениях в так называемых «черносланцевых толщах», содержащих до 2,5% углеродистого вещества. К таковым, в первую очередь на юго-восточном фланге Яно-Колымского пояса, относятся месторождения Наталка и Дегдекан. Как известно [Гончаров и др., 1995, 2002; Плюснина и др., 2003], руды этих крупных месторождений золота Яно-Колымского пояса, локализованных среди обогащенных углеродом терригенных отложений перми, содержат промышленные концентрации Pt, Pd, и примесь Ir и Ru [Гончаров и др., 1995; Плюснина и др., 2003]. Однако до сих пор минеральные формы этих элементов установлены не были, и проблема их выявления весьма актуальна для настоящего времени.

Характеристика изученных объектов

Наталкинское месторождение – крупнейшее месторождение золота Дальнего Востока России [Гончаров и др., 2002; Горячев и др., 2008], расположено в пределах Яно-Колымского орогенного пояса на его юго-восточном фланге в складчатых структурах Аян-Юряхского антиклинория, сложенного преимущественно терригенными отложениями пермского возраста. Месторождение открыто Е. П. Машко в 1942 г., эксплуатировалось с 1944 по 2004 г. (добыто более 90 т золота). Оно входит в состав Омчакского рудного поля и локализовано на юго-западном крыле Аян-Юряхского антиклинория (рис. 1), сложенном

углеродистыми аргиллитами, диамиктитами, песчаниками, алевролитами с примесью вулканокластики средне- и позднепермского возраста общей мощностью более 2,5 км и алевролитами триаса. По всему разрезу отмечена сингенетическая пиритизация. Интрузивные породы в районе месторождения Наталка представлены небольшими штоками диоритов и дайками спессартитов, порфиритов и гранит-порфиоров. Возраст оруденения 135–137 млн. лет [Ньюберри и др., 2000].

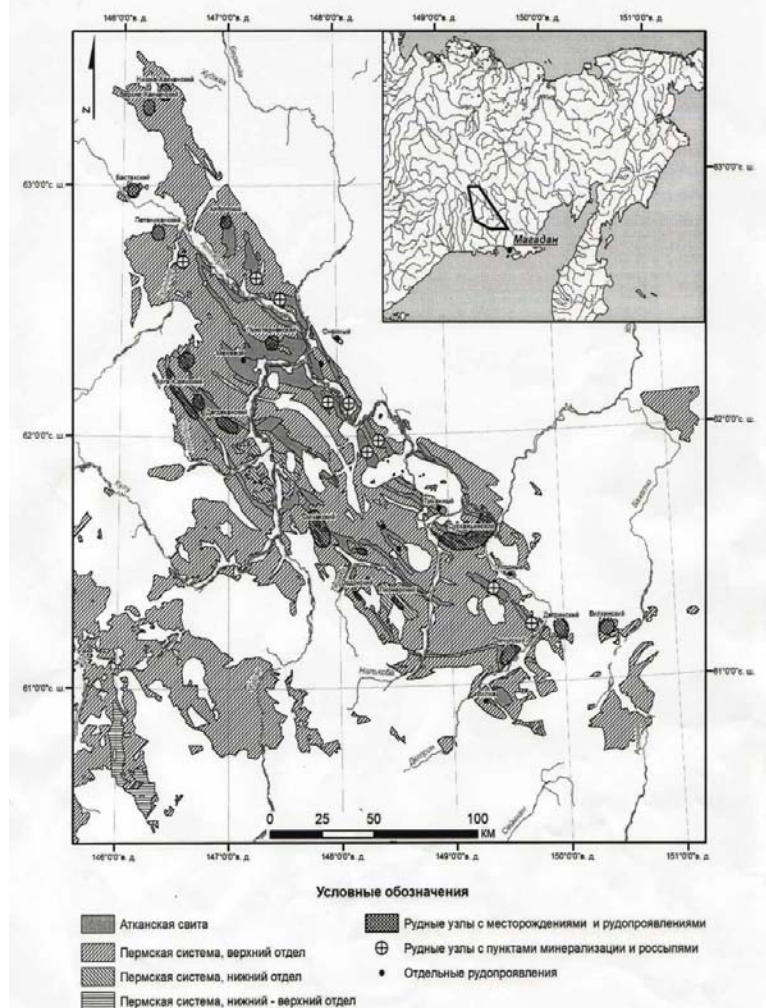


Рис. 1. Золоторудные поля и узлы в складчатых структурах Аян-Юряхского антиклинория [Астахов и др., 2010].

Для рудных зон характерно преобладание сульфидно-вкрапленного и линейно-штокверкового оруденения. Линейные штокверки, представленные двумя системами (продольной и диагональной) прожилков мощностью не более 3 см (50% имеют мощность < 0,5 см), группируются около тектонических швов в осевых частях рудных зон [Гончаров и др., 2002]. По простиранию и по падению такие системы прожилков иногда переходят в короткие линзовидные жилы, реже зоны сетчатого и сплошного метасоматического

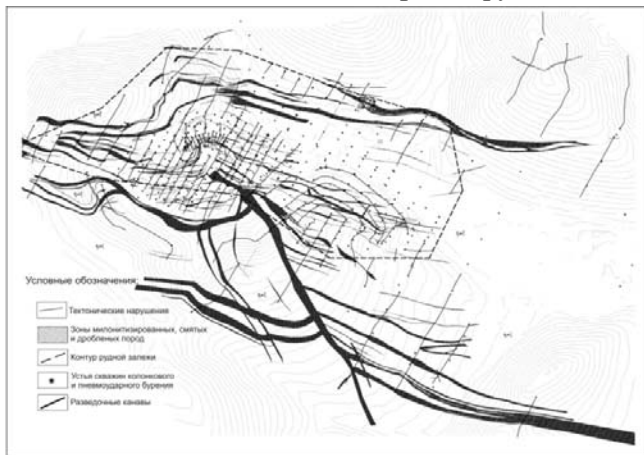
окварцевания. Они составляют структурный каркас месторождения [Горячев и др., 2008; Bortnikov, Goryachev, 2010], внутри которого локализовано вкрапленное и прожилково-вкрапленное оруденение с низкими содержаниями металла (0,8 г/т золота [Гаитольд, 2005]). Месторождение фиксируется обширными геохимическими аномалиями Au, As, W [Гончаров и др., 2002]. Основная рудная масса – это сульфидно-вкрапленные руды во вмещающих, в разной степени измененных терригенных породах. Размеры клиновидных кристаллов арсенопирита и кубических – пирита менее 1 мм, редко – 10–15 мм, их количество достигает 10%. Морфология и размеры таких ореолов в первом приближении определяются тектоническими факторами и в меньшей степени литологическими. Ореолы тесно связаны с комплексом метасоматических изменений (окварцевание, серицитизация, карбонатизация, хлоритизация).

Золото постоянно фиксируется в арсенопирите и пирите в количествах, превышающих десятки и сотни г/т, но микроскопически оно наблюдается очень редко. В кварцевых прожилках золото более крупное комковидное, размером до 2–3 мм [Гончаров и др., 2002]. Золото имеет пробность от 495 до 890‰ и тесно ассоциирует с арсенопиритом, галенитом, халькопиритом и сфалеритом. Из других минералов встречаются пирротин, альбит, адуляр,

анкерит, доломит и кварцит, изредка наблюдается шеелит, очень редки Ag-тетраэдрит, бурнонит, буланжерит, антимонит, миллерит, кобальтин, леллингит, Со-арсенопирит [Гончаров и др., 2002; Голуб, Горячев, 2006].

Локальная структура месторождения была сформирована в два этапа: (1) раннеорогенного поднятия и формирования надвигов и взбросов в условиях сжатия и вкрапленного оруденения, и (2) позднеорогенного растяжения с формированием сбросов и сдвигов и жильного каркаса [Голуб и др., 2008]. Руды первого этапа формировались в условиях сжатия при невысокой доле метаморфического флюида [Горячев и др., 2008]. Рудоносный флюид, по данным изучения флюидных включений в кварце [Горячев и др., 2008], представлен тремя составами: (1) $H_2O-CO_2-NaCl-MgCl_2$ с соленостью 1,0–4,9 вес % экв NaCl, (2) CO_2-CH_4 , и (3) $H_2O-NaCl-MgCl_2$ с более высокой соленостью 7,0–5,6 вес % экв NaCl. Составы (1) и (2) присутствуют в минералообразующей системе при 250–350° С и 1,1–2,4 кб как продукты фазовой сепарации в условиях понижения *P* и *T*. Взаимодействие этого флюида с вмещающими породами сформировало ареалы метасоматически преобразованных березитизированных пород с сульфидной вкрапленностью. Флюид третьего состава возник при кипении $H_2O-CO_2-CH_4-NaCl-MgCl_2$ жидкости и сформировал поздние минеральные ассоциации. Повышенные концентрации метана являются следствием взаимодействия флюида с углеродсодержащими вмещающими породами. Согласно данным по составу стабильных изотопов флюидов ($\delta^{18}O_{H_2O} = (+6.3) - (+8.8\text{‰})$ при 350°С и $(+3.6) - (+5.9\text{‰})$ при 280° С, соответственно) они были отделены от преимущественно магматического источника [Горячев и др., 2008]. Источником рудных компонентов служили ниже лежащие магматические очаги и мобилизация рудных компонентов из подстилающих и вмещающих пород вследствие их дегидратации и деуглеродизации в течение раннеорогенного регионального метаморфизма.

Особенностью состава наталкинских золотых руд являются установленные в них промышленные содержания ЭПГ [Гончаров и др., 1995, 2002; Плюснина и др., 2003], достигающие 32 г/т Pt. Спецификой руд является четкое преобладание в них Pt над всеми



остальными элементами и заметные содержания Pd. Аналогичная картина установлена и для другого крупного месторождения Дальнего Востока – Нежданинского [Алпатов и др., 2002], где содержания оказались еще выше – до 50 г/т. Однако минеральных форм ЭПГ также обнаружено не было, но отмечено, в частности, что ЭПГ тяготеют к сульфидной фракции, и что поведение Pt и Pd в процессе формирования руд неодинаково [Алпатов и др., 2002; Плюснина и др., 2003].

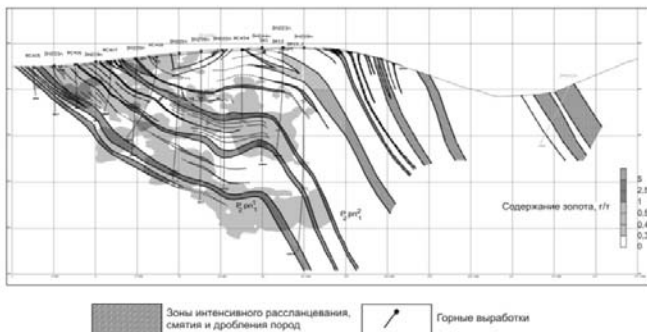


Рис. 2. Геологическая карта и разрез №24 Дегдеканского золоторудного месторождения [Маньшин, Горячев, 2009].

Месторождение Дегдекан.

Оно представляет собой пример локализации прожилково-вкрапленных и вкрапленных сульфидных руд в

стратифицированных отложениях низов средней перми (рис. 2). Оруденение контролируется крупным надвигом [Маньшин, Горячев, 2009]. Рудовмещающие толщи представлены алевролитами и глинистыми сланцами при заметно меньших количествах пластов песчаников. Терригенные породы изменены (хлорит-серицитовые с карбонатами метасоматиты). В пределах месторождения известен комплекс даек порфириров и кварцевожильное золотое оруденение, расположенные на его северо-западном фланге.

Главными минералами руд являются пирит и подчиненный ему арсенопирит, образующие мелкую (менее 3 мм) вкрапленность в измененных осадочных породах. Количество сульфидов варьирует от 0,1 до 10%, составляя в среднем около 3%. Кроме этих минералов ранее были отмечены редкие находки минерала никеля – герсдорфита [Савва, Парфенов, 2001]. Золото установлено в самородной форме и имеет размеры золотинок 0,1–0,5 мм, редко достигающих 2–3 мм. Пробность его варьирует в пределах 850–920‰ [Маньшин, Горячев, 2009; Савва, Парфенов, 2001]. Среднее его содержание в руде около 1,2 г/т. Запасы оцениваются в 260 т.

Методика исследований

Было изучено несколько десятков проб, отобранных в разные годы из подземных горных выработок месторождения Наталка с поверхности и из скважин месторождения Дегдекан. Специальному изучению подверглись две пробы типовых руд месторождения Наталка и одна проба с месторождения Дегдекан. На месторождении Наталка эти пробы были отобраны в карьере, а на месторождении Дегдекан крупная минералогическая проба весом 20 кг была отобрана из забоя разведочной штольни в 100 м от устья, с глубины 50 м от поверхности. В обоих случаях пробы представляют собой рядовую руду месторождений с содержанием золота 1–2 г/т. Основу проб составляют метасоматически преобразованные пермские алевролиты, содержащие редкие просечки и прожилки (до 1 см) кварца и вкрапленность сульфидов, пирита (преобладает) и арсенопирита. Количество сульфидов составляет около 3% по объему пробы.

В результате дробления материала проб и его промывки на концентрационном столе был получен концентрат, обогащенный пиритом и арсенопиритом, который в дальнейшем исследовался методами электронной микроскопии на программно-аппаратном комплексе QemScan (Австралия), основой которого является сканирующий электронный микроскоп EVO-50 фирмы Карл Цейс (Германия) с системой количественного анализа QUANTAX фирмы Bruker. В приборе QemScan используется расположение четырех энерго-дисперсионных детекторов по схеме «напротив друг друга», что позволяет анализировать неполированные образцы. Собственно объектом исследований явились минералы тяжелой фракции размерами 0,1–0,25 мм, выделенные с помощью бромформа. Минералы и их сростки с силикатами наносились тонким слоем на проводящий углеродистый скотч и напылялись углеродом. Применялась специальная методика, позволяющая исключить влияние напыленного углерода на результат анализа через коррекцию на наличие покрытия («калибровка покрытия»), в соответствии с руководством пользователя прибора. Условия проведения измерений: ускоряющее напряжение 25 кВ, ток пучка – 120 пА, размер излучающей области 4 мкм. Поиск и изучение минеральных включений проводились в режиме обратно рассеянных электронов (BSE), при котором яркость фазы соответствует ее среднему атомному номеру. При этом благородные металлы как элементы с большим атомным номером обеспечивают яркое «свечение» на фоне остальных минералов. Элементы диагностировались по полному спектру, при этом учитывалось обязательное для них проявление как минимум двух пиков $K\alpha$ и $L\alpha$. Количественный анализ образца (зерна) получен с помощью математической обработки интенсивностей различных пиков, применяемой в системе QUANTAX с помощью безэталонного метода «P/B-ZAF». Необходимые значения для определения

интенсивностей пиков обеспечивались снятием фона тормозного излучения, одновременно определяемого энергодисперсионным детектором. Р/В-отношение является отношением интенсивности конкретных характеристических рентгеновских параметров к фону тормозного излучения. Анализ Р/В-ZAF методом является самокалибрующимся, он относительно малочувствителен к углу поверхности образца.

Поиск минералов осуществлялся визуально по степени яркости, определяемой атомным номером основных элементов, через площадное сканирование. Выявленные минеральные фазы анализировались на полный спектр, а также пересекались профильной съемкой по главным элементам фазы. В каждой из проб просмотрено более 200 000 зерен.

Результаты проведенных исследований

В результате, на Наталкинском месторождении выявлено достаточно широкое распространение герсдорфита [Соцкая и др., 2011], однако минералы ЭПГ пока не выявлены. Герсдорфит образует как самостоятельные кристаллы в метасоматитах, так и сростки с арсенопиритом. Общая сульфидно-сульфоарсенидная ассоциация представлена арсенопиритом, мышьяковистым (до 6%) пиритом, герсдорфитом и кобальтином, при существенном преобладании двух первых минералов. Изотопный состав серы в них варьирует от -3 до -5‰ [Гончаров и др., 2002]. На месторождении же Дегдекан нами впервые установлены минералы ЭПГ (табл. 1; рис. 3–6). Размеры минералов варьировали от 0,5 до 5 мкм, с преобладанием минимальных размеров (0,5–2 мкм). Эти минеральные фазы образуют вростки в силикатную матрицу породы, иногда отмечались в пустотах – порах в породе, редко были встречены изометричные индивидуальные частицы. Судя по данным сканирования отдельных сростков, платиноиды иногда срastaются с пиритом и арсенопиритом. В числе минеральных фаз ЭПГ установлены: самородный осмий (7 зерен), иридосмин (11), рутениридосмин (2), лаурит, иридарсен, осмиридарсен (все по одному зерну).

Они образуют мелкие изолированные включения в матрице вмещающих измененных алевролитов и глинистых сланцев, состоящей из варьирующих по соотношениям минералов: халькопирит + пирит + серицит + альбит + хлорит + кальцит + анкерит + апатит + ильменит + гидроокислы железа, иногда встречается хромит. Очень редко отмечаются их срastания с матрицей метасоматитов, похожие на просечки или пленочные формы.

Табл. 1. Составы минералов ЭПГ месторождения Дегдекан

Минерал	Ru	Os	Ir	As	S	Сумма
Рутениридосмин (2)	13,1	42,1	46,0			101,2
Рутениридосмин (1)	21,4	33,4	42,0			96,8
Лаурит(1)	78,4	4,4			17,2	100,0
Осмий самородный (6)		98,6				98,6
Осмий самородный (2)	5,6	94,4				100,0
Осмирид (1)		59,1	41,0			100,1
Осмирид (2)		54,1	46,0			100,1
Осмирид (2)		50,8	49,3			100,1
Рутениридосмин (1)	3,6	60,1	36,2			99,3
Рутениридосмин (1)	5,3	50,0	44,5			99,8
Рутениридосмин (2)	4,0	44,6	51,4			100,0
Рутениридосмин (1)	7,4	40,7	52,0			100,1
Рутеносмирид (1)	13,3	26,8	59,9			100,0
Иридарсен (1)	8,7		64,0	27,3		100,0
Арсенид Ru, Os и Ir (1)	30,7	14,7	23,2	31,5		100,1

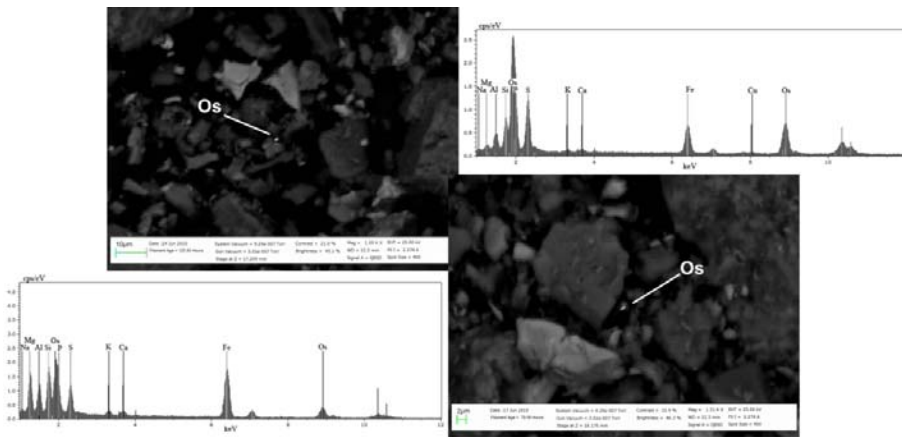


Рис. 3. Самородный осмий в рудах Дегдеканского месторождения.

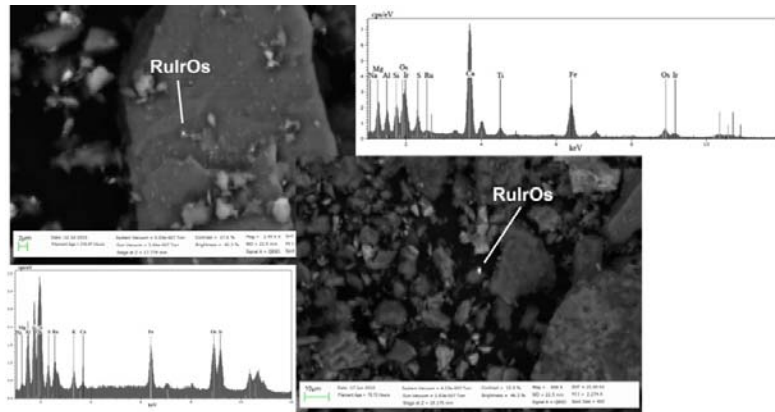


Рис. 4. Рутениридосмин в рудах Дегдеканского месторождения.



Рис. 5. Иридарсен в рудах Дегдеканского месторождения.

Линейный профиль интенсивности рентгеновского излучения иридарсена

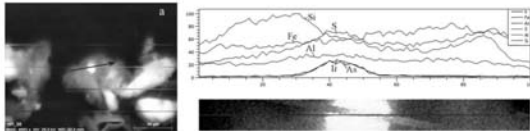


Рис. 6. Лаурит в рудах Дегдеканского месторождения.

Помимо платиноидов в рудах установлено относительно широкое распространение герсдорфита, отмечен раммельсбергит, выявлены никельсодержащие кобальтин и пирит (до 2% Ni), а также микроскопическое золото (табл. 2; рис. 7–8). Причем минералы никеля образуют тесные сростания с арсенопиритом, что позволяет говорить о единой их парагенетической ассоциации.

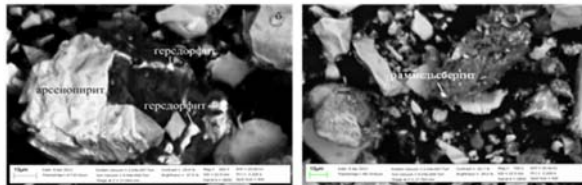


Рис. 7. Никелевые минералы в сростаниях с арсенопиритом.

Табл. 2. Составы сульфоарсенидов Ni и Co из руд месторождения Дегдекан (масс. %)

Минерал	Массовые, %				Кристаллохимическая формула
	Ni	As	S	Co	
Раммельсбергит	30,6	65,3	4,1	-	Ni _{1,0} As _{1,7} S _{0,3}
Герсдорфит	43,5	37,1	19,4	-	Ni _{1,2} As _{0,8} S _{1,0}
Герсдорфит	39,5	37,7	22,8	-	Ni _{1,1} As _{0,8} S _{1,1}
Герсдорфит	49,2	26,9	23,9	-	Ni _{1,3} As _{0,6} S _{1,1}
Кобальтин	6,0	56,1	11,9	26,0	Co _{1,1} Ni _{0,2} As _{1,8} S _{0,9}
Кобальтин	6,8	52,7	12,5	28,0	Co _{1,1} Ni _{0,3} As _{1,7} S _{0,9}

Микроскопические включения самородного золота (от 0,5 до 11 мкм) обнаружены, в основном, в зёрнах пирита и арсенопирита и имеют наложенный характер. Золото микронных размеров, как правило, образует удлинённые, иногда округлые включения. Проба микровключений золота колеблется от 432‰ до 938‰ с преобладанием классов от 700‰ до 900‰, что вполне соответствует полученным ранее данным [Литвиненко, 2003; Савва, Парфенов, 2001]. Для месторождения Наталка пробность золота составила от 730 до 890, что также близко ранее полученным данным (см. выше). Это является косвенным подтверждением правильности принятой нами методики диагностики.

Любопытно, что изотопный состав серы арсенопирита вкрапленных руд месторождения Дегдекан (табл. 3) оказался более легким, чем на месторождении Наталка и подобным остальным орогенным месторождениям золота Яно-Колымского пояса [Горячев, 2003].

Табл. 3. Изотопный состав серы вкрапленного арсенопирита месторождений Дегдекан

№№ пп	Номер пробы	$\Delta^{34}\text{S}$	Глубина от поверхности (м)
1	9-23гр	- 6,4	23
2	9-26гр	- 6	26
3	9-69-гр	- 5,6	69
4	9-77-гр	- 5,6	77
5	9-82-гр	- 5,8	82
6	9-83-гр	- 5,9	83

Аналитики А. В. Игнатъев и Т. И. Веливецкая (Аналитический центр коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН).

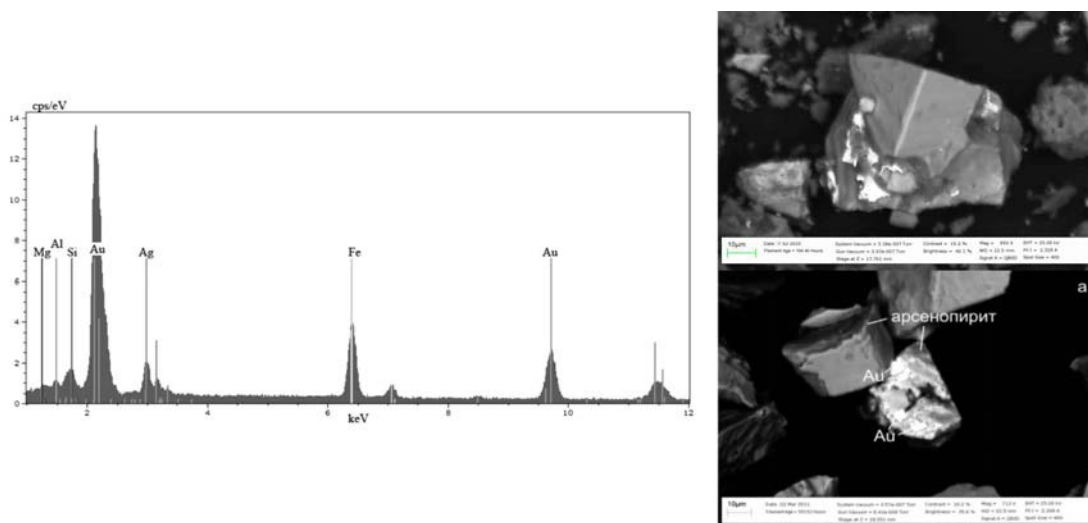


Рис. 8. Самородное золото в сростках с арсенопиритом (месторождение Дегдекан).

Для исследования закономерностей распределения благородных металлов и никеля в неизменных породах пермского возраста одним из авторов был опробован разрез пермских отложений уровня отложения руд Наталкинского месторождения, но на значительном удалении от золоторудных полей (см. рис. 1). В результате было выявлено несколько уровней обогащения осадков атканской и омчакской свит Ni, Cr, Au, ЭПГ, причем в значительной своей части они оказались совмещены с тектоническими нарушениями (рис. 9). Проведенный нами корреляционный анализ геохимических данных (рис. 10) показал, что благородные металлы образуют разные ассоциации, причем платина отчетливо обособилась от остальных ЭПГ и золота. Кроме того, выявлена достаточно тесная связь Ni, Cr, Co с ЭПГ и Au.

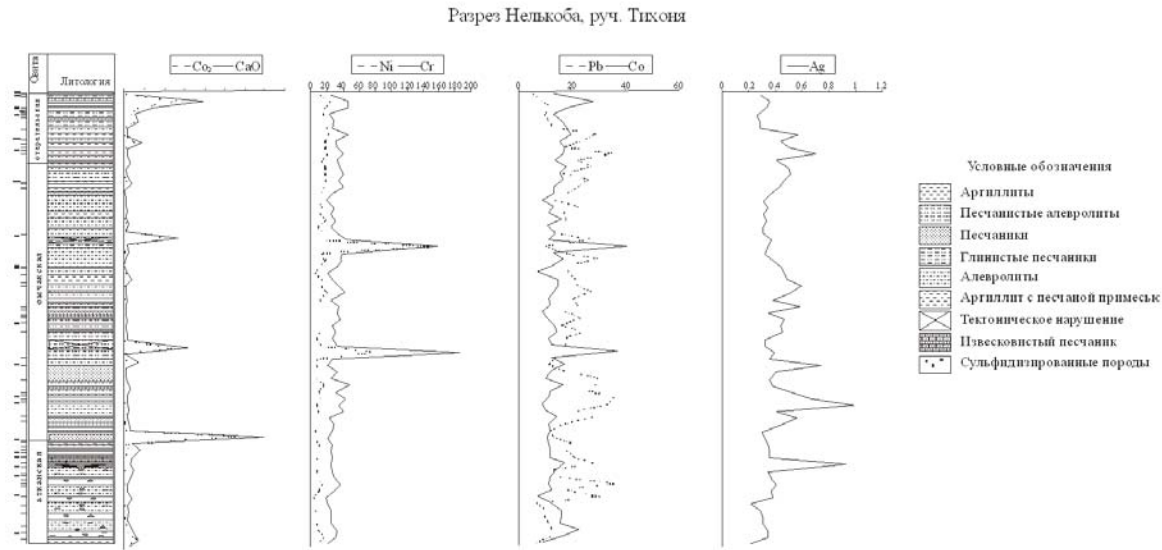


Рис. 9. Распределение Ni, Cr и других элементов в разрезе пермских отложений ручья Тихоня.

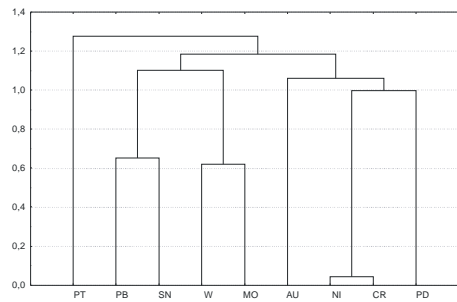


Рис. 10. Корреляционная матрица распределения благородных металлов и некоторых рудных элементов для эталонных пермских отложений Аян-Юряхского антиклинория, вмещающих основное благороднометалльное большеобъемное оруденение региона (руч. Тихоня) (35 проб), данные ICP MS (г. Хабаровск, ЦКП ИТИГ ДВО РАН, Н. В. Бердников).

Обсуждение результатов и выводы

Ранее проведенное исследование содержаний благородных металлов в рудных метасоматитах Наталкинского месторождения [Плюснина и др., 2003] показало, что максимальные концентрации Au и Pt отмечены в сульфидах, а минимальные – в хвостах обогащения, при этом распределение Pt отличается от Au и Pd, поскольку Pt тяготеет к сульфидам, а Pd – к углеродистому веществу. Наиболее вероятными концентраторами ЭПГ могут служить широко распространенные пирит и арсенопирит, а также сульфоарсениды Ni и Co, встречающиеся в рудах. Наши первые результаты определения ЭПГ в монофракциях рудного арсенопирита и осадочного пирита показали, что Pt в них присутствует в количестве 1–10 г/т, Pd – менее 1 г/т.

Рутениридосминовая специфика выявленной минерализации на месторождении Дегдекан, типичная для магматических комплексов основного и ультраосновного состава, необычна для осадочных пород, но вполне соответствует геохимическим данным [Ханчук и др., 2011], свидетельствующим о низких содержаниях в рудах Pt и Pd. К тому же они коррелируют с находками минералов никеля (герсдорфит, Ni-пирит) и аксессуарного хромита. Особенности платиноидной минерализации и сопутствующих минералов заставляют предполагать, что все это отражает процессы разрушения магматического источника основного–ультраосновного состава и накопления продуктов такого разрушения в пермских осадках. Однако признаков (геологических или геофизических) существования крупных тел мафит – ультрамафитового состава в допермских и пермских толщах окружающих тектонических блоков в настоящее время неизвестно. Этому противоречит и тесная ассоциация данной минерализации с золотоносными, явно эпигенетическими, метасоматитами. Проведенное нами в рамках проекта сопоставление изученных месторождений с объектами современной гидротермальной активности, существующими в сходных тектонических условиях Восточно-Чукотского моря [Астахов и др., 2010], позволяет предположить, что возможным источником ЭПГ в осадочных толщах перми могли быть сейсмоактивные троговые зоны дна пермского моря, подобные современным установленным в донных отложениях Чукотского моря [Астахов и др., 2010]. В этой связи обращает на себя внимание факт обогащенности тектонических зон в разрезе пермских отложений Ni, Cr и Co (см. рис. 9), что может свидетельствовать о металлогенической роли таких сейсмоактивных зон и видеть в них каналы поступления флюидов с ЭПГ, Ni, Cr, Au в придонные слои пермского моря, обуславливая этим формирование горизонтов осадков первичного обогащения благородными металлами. Соответственно, полученные результаты требуют новых подходов к металлогенической оценке потенциала бассейнов пассивных континентальных окраин на благородные металлы.

Выявленное при изучении Наталкинского месторождения разное поведение Pt и Pd по отношению к Au имеет, по всей видимости, первичную природу, обусловленную их антагонизмом при формировании обогащенных углеродом пермских осадочных толщ. В то же время отчетливая приуроченность минералов ЭПГ к метасоматитам, а Pt к сульфидам и сульфоарсенидам, указывает на эпигенетическое положение ЭПГ и их тесную связь с золотом в рудах изученных месторождений, сформированных в орогенный этап из единых потоков флюидов, структурированных крупными разломами [Горячев, 2003]. В пользу данного предположения свидетельствует унифицированный изотопный состав серы рудных сульфидов, практически единый для всех орогенных месторождений юго-восточного фланга Яно-Колымского пояса, в том числе и изученных месторождений. Т.е. вовлечение подобных пассивных окраинно-континентальных структур в орогенные процессы приводит к перераспределению благородных металлов и к формированию комплексных золото-платиноидных руд во всем разрезе древних осадков, подобно процессам реювенации древней коры [Рундквист, 1993], что, в свою очередь, создает предпосылки для формирования промышленных суперконцентраций металлов [Рундквист, Кравченко, 1996]. При этом, в зависимости от количества углерода и сульфидов в рудах в каждом конкретном случае, мы имеем дело с разными ассоциациями благородных металлов – либо Pt-Pd-Au, либо Pd-Au, либо Ru-Ir-Os-Au. Отсюда следует вероятность множественности источников платиноидов в орогенных рудах Au и разные пути вовлечения ЭПГ в процессы орогенного рудообразования.

Главным достижением по исследованию сложного Au-Ni-PGE оруденения в черносланцевых толщах на примере месторождения Дегдекан является выявление минеральных форм платиноидов (рутениридосмин, осмирид, лаурит, иридарсен, осмий самородный) и определение их минеральных ассоциаций в рудах. Это создает основу для разработки технологии извлечения данных минералов вместе с золотом и существенно

увеличивает ценность руд данного типа, что необходимо учитывать при лицензировании таких объектов.

На основании полученных данных можно предложить следующую модель формирования руд. Первоначальное накопление благородных металлов и никеля в определенных горизонтах осадков пермского моря, в связи с троговыми зонами пассивной континентальной окраины; последующее перераспределение в процессах метатенеза и метаморфизма раннеорогенного этапа в позднем мезозое и вынос из нижних горизонтов осадочного чехла орогенными метаморфогенно-магматогенными флюидами с отложением руд в приразломных зонах в два этапа – синнадвиговый и синсбросовый.

Проведенные исследования подтвердили высказанные ранее предположения о связи благородных металлов с никелем и показали принципиальное присутствие минерализации ЭПГ в «черносланцевых» рудах золоторудных месторождений Яно-Колымского пояса, обозначив новые перспективы изученных месторождений как комплексных золото-платиноидных. Дальнейшие усилия необходимо направить на изучение микроминералогии этих руд как базы для разработки конкретных технологических схем извлечения благородных металлов, а также на установление природы геохимических аномалий ЭПГ в рудах наталкинского и ветренского типов.

Список патентов, основных научных работ, докладов, публичных выступлений выполненных в ходе выполнения проекта

В журналах перечня ВАК

1. *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.
2. *Горячев Н. А., Соцкая О. Т., Горячева Е. М., Михалицына Т. И., Маньшин А. П.* Первая находка минералов платиновой группы в черносланцевых золотых рудах месторождения Дегдекан на Северо-Востоке России // ДАН. 2011. Том 439, № 1, с. 79–82.

В других изданиях

3. *Маньшин А. П., Горячев Н. А.* Геологическое строение участка «Верный» золоторудного месторождения Дегдекан // Чтения памяти академика К. В. Симакова. – Тез. докл. Всеросс. научн. конф. (Магадан, 25–27 ноября 2009 г.) Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2009. С.125–126.
4. *Соцкая О. Т., Маньшин А. П., Горячев Н. А.* Новые данные по минералогии руд Дегдеканского месторождения Золото Северного обрамления Пацифика. II Международный горно-геологический форум, посвященный 110-летию со дня рождения Ю. А. Билибина. Тезисы докладов горно-геологической конференции (Магадан, 3–5 сентября) Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2011. С. 205–207.

Статья подготовлена по результатам работ по проекту 1.1.18 Программы Президиума РАН №14-23-24 «Научные основы инновационных энергоресурсосберегающих экологически безопасных технологий оценки и освоения природных и техногенных ресурсов» (координаторы: ак. Леонтьев Л. И., ак. Рундквист Д. В.) 2009–2011 гг.

Литература

1. Алпатов В. В., Гамянин Г. Н., Коробейников А. Ф. Нежданнинское уникальное (платиноидно)-золотое месторождение // Российская Арктика. Геологическая история, минерагения, геоэкология. СПб: ВНИИОкеангеология, 2002. С.730–740.
2. 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) // Доклады РАН, 2010. Т.430. №2. С.212–217.
3. Буряк В. А., Горячев Н. А., Сидоров В. А. и др. Основные литостратиграфические уровни юго-востока Яно-Колымского золотоносного пояса, благоприятные для локализации оруденения // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий. Билибинские чтения. Том 2. Металлогения. Магадан. СВКНИИ ДВО РАН, 2001. С. 143–145.
4. Буряк В. А., Гончаров В. И., Горячев Н. А., Цымбалюк Н. В., Абиссалов Э. Г. О соотношении кварцевожильной золотой и вкрапленной золото-сульфидной минерализаций с платиноидами в черносланцевых толщах. Доклады РАН, 2005. Т. 400. №1. С. 56–59.
5. Гаштольд В. В. Геолого-структурные особенности локализации золотого оруденения Наталкинского типа и его геолого-экономическая оценка на примере месторождений Омчакского рудного узла // Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. Магадан. 2005. 29 с.
6. Голуб В. В., Горячев Н. А. Минералого-геохимические особенности рудных зон и столбов глубоких горизонтов месторождения Наталка // Рудогенез и металлогения Востока Азии. Мат-лы конф. Якутск: ИГАБМ СО РАН. 2006. С. 45–46.
7. Голуб В. Н., Петров А. Н., Горячев Н. А. Геолого-структурные условия локализации рудных зон юго-восточного фланга Наталкинского золоторудного месторождения // Вестник СВНЦ, 2008. № 4. С.16–20.
8. Гончаров В. И., Ворошин С. В., Сидоров В. А. Наталкинское золоторудное месторождении. Магадан. СВКНИИ ДВО РАН, 2002. 250 с.
9. Гончаров В. И. Ворошин С. В., Сидоров В. А. и др. Платиноносность золоторудных месторождений в черносланцевых толщах Северо-Востока России: проблемы и перспективы // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI веке. М.: Геоинформмарк, 1995. Т.2, Кн.2. С.156–161.
10. Горячев Н. А. Происхождение золото-кварцевых жильных поясов Северной Пацифики. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. 143 с.
11. Горячев Н. А., Викентьева О. В., Бортников Н. С., Прокофьев В. Ю., Алпатов В. А., Голуб В. Н. Наталкинское месторождение мирового класса: распределение РЗЭ, флюидные включения, стабильные изотопы кислорода и условия формирования руд (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. 2008 Т.50, № 5. С. 414–444.
12. Горячев Н. А., Соцкая О. Т., Горячева Е. М., Михалицына Т. И., Маньшин А. П. Первая находка минералов платиновой группы в черносланцевых золотых рудах месторождения Дегдекан на Северо-Востоке России // Доклады РАН. 2011.Том 439, № 1, с. 79–82.
13. Лаверов Н. П., Дистлер В. В., Митрофанов Г. Л. и др. Платина и другие самородные металлы в рудах месторождения золота Сухой Лог. Доклады РАН, 1997. Т.355. №5. С.664–668.
14. Литвиненко И. С. Россыпеобразующие свойства золото-кварц-сульфидного оруденения черносланцевых толщ на Северо-Востоке России (на примере Дегдеканского рудного поля) // Геология, География и биологическое разнообразие Северо-Востока России. Материалы Дальневосточной региональной конференции,

- посвящённой памяти А. П. Васьковского и в честь его 95-летия (Магадан, 28-30 ноября 2006 г). Магадан. 2006. С. 140–144.
15. *Маньшин А. П., Горячев Н. А.* Геологическое строение участка «Верный» золоторудного месторождения Дегдекан // Чтения памяти академика К. В. Симакова. – Тез. докл. Всеросс. научн. конф. (Магадан, 25–27 ноября 2009 г.) Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2009. С. 125–126.
 16. *Молчанов В. П., Моисеенко В. Г., Хомич В. Г., Горячев Н. А.* Палладий-золото-редкометалльная минерализация Оемкинского рудного узла (Сихотэ-Алинь) / Доклады РАН, 2000. Т. 375, № 4. С. 518–520.
 17. *Моисеенко В. Г., Степанов В. А., Эйриш Л. В., Мельников А. В.* Платиноносность Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2004. 176 с.
 18. *Ньюберри Р. Дж., Лейер П. У., Ганс П. Б., Гончаров В. И., Горячев Н. А., Ворошин С. В.* Предварительный анализ хронологии позднемезозойского магматизма и оруденения на Северо-Востоке Азии с учетом датировок $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и данных по рассеянным элементам изверженных и оруденелых пород // Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики. Т.1. Геология, геохронология и геохимия. Тр. Всеросс. Совещания, Магадан, 1997 г. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. С. 181–205.
 19. *Плюснина Л. П., Ханчук А. И., Гончаров В. И., Сидоров В. А., Горячев Н. А., Кузьмина Т. В., Лихойдов Г. Г.* Золото, платина и палладий в рудах Наталкинского месторождения (Верхне-Колымский региона) // Доклады РАН, 2003. Т. 391. №3. С. 383–387.
 20. *Рундквист Д. В.* Эпохи реювенации докембрийской коры и их металлогеническое значение. // Геология рудных месторождений. 1993, № 6. С. 467–480.
 21. *Рундквист Д. В., Кравченко С. М.* Промышленные суперконцентрации металлов в литосфере // Геология рудных месторождений. 1996, № 3. С. 288–303.
 22. *Савва Н. Е., Парфенов М. И.* О рассеянном Co-Ni оруденении в черносланцевых толщах зоны тенькинского глубинного разлома // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий. Том 2. Металлогения. Магадан. СВКНИИ ДВО РАН. 2001. С. 78–81.
 23. *Соцкая О. Т., Маньшин А. П., Горячев Н. А.* Новые данные по минералогии руд Дегдеканского месторождения Золото Северного обрамления Пацифика. II Международный горно-геологический форум, посвященный 110-летию со дня рождения Ю. А. Билибина. Тезисы докладов горно-геологической конференции (Магадан, 3–5 сентября) Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2011. С. 205–207.
 24. *Ханчук А. И., Плюснина Л. П., Молчанов В. П.* Первые данные о золото-платиноидном оруденении в углеродистых породах Ханкайского массива и прогноз крупного месторождения благородных металлов в Приморском крае. Доклады РАН, 2004. Т. 397. № 4. С. 524–529.
 25. *Ханчук А. И., Плюснина Л. П., Никитенко Е. М., Кузьмина Т. В., Баринов Н. Н.* Распределение благородных металлов в черных сланцах золоторудного месторождения Дегдекан // Тихоокеанская геология, 2011, № 2. С. 3–11.
 26. *Bortnikov N. S., Goryachev N. A.* Natalka Gold Deposit – Giant Orogenic Au deposit of North East Asia // Giant Ore Deposits Down – Under. 13th Quadrennial IAGOD Symposium 2010 (Adelaide, South Australia, 6–9 April) Symposium Proceedings CD, Chapter 12. P. 223