

ГЕОЛОГИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 553.411.071, 553.21/.24

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОДУКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТАЙМЫРО-СЕВЕРОЗЕМЕЛЬСКОГО ОРОГЕНА

© 2023 г. А. А. Боровиков^{1,*}, В. Ф. Проскурнин^{2,**}, Г. А. Пальянова^{1,***},
член-корреспондент РАН О. В. Петров², академик РАН Н. С. Бортников³

Поступило 13.10.2022 г.
После доработки 18.10.2022 г.
Принято к публикации 19.10.2022 г.

Впервые, на основе данных изучения флюидных включений, установлены *PTX*-параметры формирования золоторудной минерализации Таймыро-Североземельского орогена. Температура образования золотых руд охватывает интервал от 310 до 105°C, давление было не ниже 110–96 МПа. Рудообразующие флюиды характеризовались $\text{NaCl} + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2$ составом и солесью до 9.7 мас. % в экв. NaCl . Определен состав самородного золота (пробность варьирует преимущественно в интервале от 980 до 820‰) и минералов продуктивных минеральных ассоциаций. Рудообразующие флюиды золото-сульфидно-кварцевых рудопроявлений аккреционной Шренк-Фадеевской зоны (Ясенское и Малиновское на Северо-Восточном Таймыре) являются более окисленными и менее солеными по сравнению с золото-кварцевыми проявлениями орогенного типа Мининско-Большевитской миогеоклинальной зоны (Нижнелиткенское, Видимое, Нерпичье).

Ключевые слова: месторождения Таймыро-Североземельского орогена, золоторудная минерализация, *PTX*-параметры и состав флюидов

DOI: 10.31857/S2686739722602198, EDN: SRAJNX

В последние годы особое внимание уделяется изучению минерально-сырьевой базы арктической зоны Российской Федерации [1]. Новой золотоносной провинцией в Центральном секторе Арктики России является Таймыро-Североземельский ороген [2–4]. Установленные рудопроявления с самородным золотом – Нижнелиткенское (о. Большевик), Видимое, Нерпичье, Конечнинское (Западный Таймыр), Светлинское и Малиновское (Северо-Восточный Таймыр) – являются типовыми для орогенных областей и наиболее перспективными золоторудными объектами [5–8]. В настоящей работе представлены первые

результаты исследований флюидных включений (ФВ) в кварце разных стадий формирования золоторудной минерализации этих рудопроявлений и выполнена оценка *PTX*-параметров и состава рудоносных флюидов. При изучении флюидных включений использованы методы крио- и термометрии, а также Раман-спектроскопии.

В Таймыро-Североземельской провинции выделяются позднепалеозойско-раннемезозойские Карская золотоносная и Быррангская угленосно-редкоземельно-полиметаллическая минерагенические области (рис. 1). Золоторудные проявления приурочены к Карской минерагенической области, в которой наиболее широко развиты гранитоиды орогенного типа [9].

По составу вмещающих пород докембрия Карская область подразделяется на две минерагенические зоны: Мининско-Большевитскую пассивно-окраинную флишеидно-терригенную углеродистую с проявлением зонального регионального метаморфизма и Шренк-Фадеевскую аккреционную вулканогенно-карбонатно-терригенную углеродистую с офиолитовыми, андезитовыми и контрастными базальт-риолитовыми комплексами.

Золотоносные минеральные ассоциации изучены из золото-кварцевых и золото-сульфидно-

¹Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева
Российской академии наук, Новосибирск, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

³Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии
Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: borovik@igm.nsc.ru

**E-mail: Vasily_Proskurnin@vsegei.ru

***E-mail: palyan@igm.nsc.ru

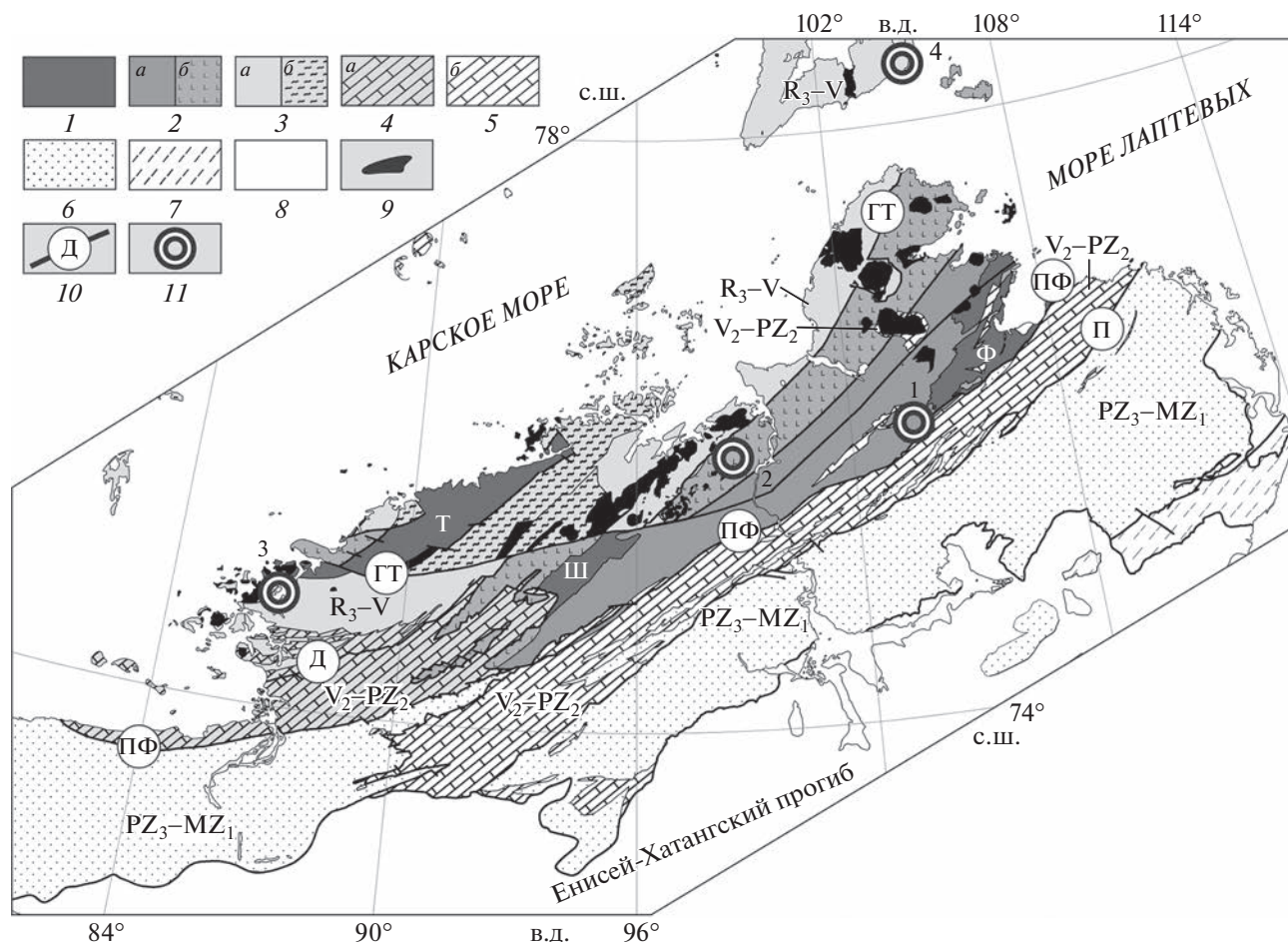


Рис. 1. Схема минерагенического районирования Таймыро-Североземельского орогена на структурно-геологической основе [7]. 1, 2, 3, 4 – Карская область: 1 – кратонные выступы (Ф – Фаддеевский, Ш – Шренковский, Т – Тревожинский); 2 – Шренк-Фаддеевская аккреционная рифейско-ранневендская зона (2а – рифейской окраины Сибири, 2б – энсиматических и энсиалических дуг позднего рифея-раннего венда); 3 – Мининско-Большевицкая миогеоклинальная зона (терригенные рифейско-вендско-раннекембрийские образования, метаморфизованные в зеленосланцевой (3а) и амфиболитовой фации (3б)); 4 – поздненевандско-среднепалеозойские эпиплатформенные отложения черносланцевой зоны; 5, 6 – Быррангская область: 5 – поздненевандско-среднепалеозойские эпиплатформенные отложения переходной и карбонатной зон; 6 – позднепалеозойско-раннемезозойские терригенные, трапповые и интрузивные эпиплатформенные образования; 7 – Восточнотаймырско-Оленекская область: позднепалеозойско-среднемезозойские терригенные эпиплатформенные складчатые образования; 8 – юрско-кайнозойский чехол; 9 – позднепалеозойские гранитоиды; 10 – главные разломы: ГТ – Главный Таймырский, Д – Диабазовый, ПФ – Пясино-Фаддеевский; П – Пограничный; Ч – Чернохребтинский; 11 – потенциальные рудные узлы с золоторудными проявлениями (ЗР): Верхнеленинградский (1) с Ясенским ЗР, Малиновско-Гагаринский (2) с Малиновским ЗР, Конечнинский (3) с Видимым, Нерпичьем и Конечнинским ЗР, Голышевский (4) с Нижнелиткенским ЗР.

кварцевых рудопроявлений Мининско-Большевицкой (Нижнелиткенское на о. Большевик, Видимое, Нерпичье, Конечнинское на западном Таймыре) и Шренк-Фаддеевской (Ясенское, Малиновское на севере Центрального Таймыра) зон (рис. 2, табл. 1).

Взаимоотношения и химический состав минералов исследованы методами оптической и сканирующей электронной микроскопии с помощью сканирующего электронного микроскопа MIRA 3 LMU (“Tescan Orsay Holding”), оснащенном системой микроанализа “INCA” Energy 450+

и волновым спектрометром INCA Wave 500, “Oxford Instruments” Nanoanalysis Ltd и частично описаны ранее [7].

В Мининско-Большевицкой зоне рудопроявления приурочены к зонально метаморфизованным пассивноокраинным флишидным терригенным углеродистым комплексам и связаны с тиманским и позднепалеозойским орогенезом.

Наиболее крупное самородное золото (до 1 см, в среднем 1–2 мм) с незначительными примесями Ag до 4 мас. % (пробность 960‰) установлено на рудопроявлении Нижнелиткенское. Оно ассо-

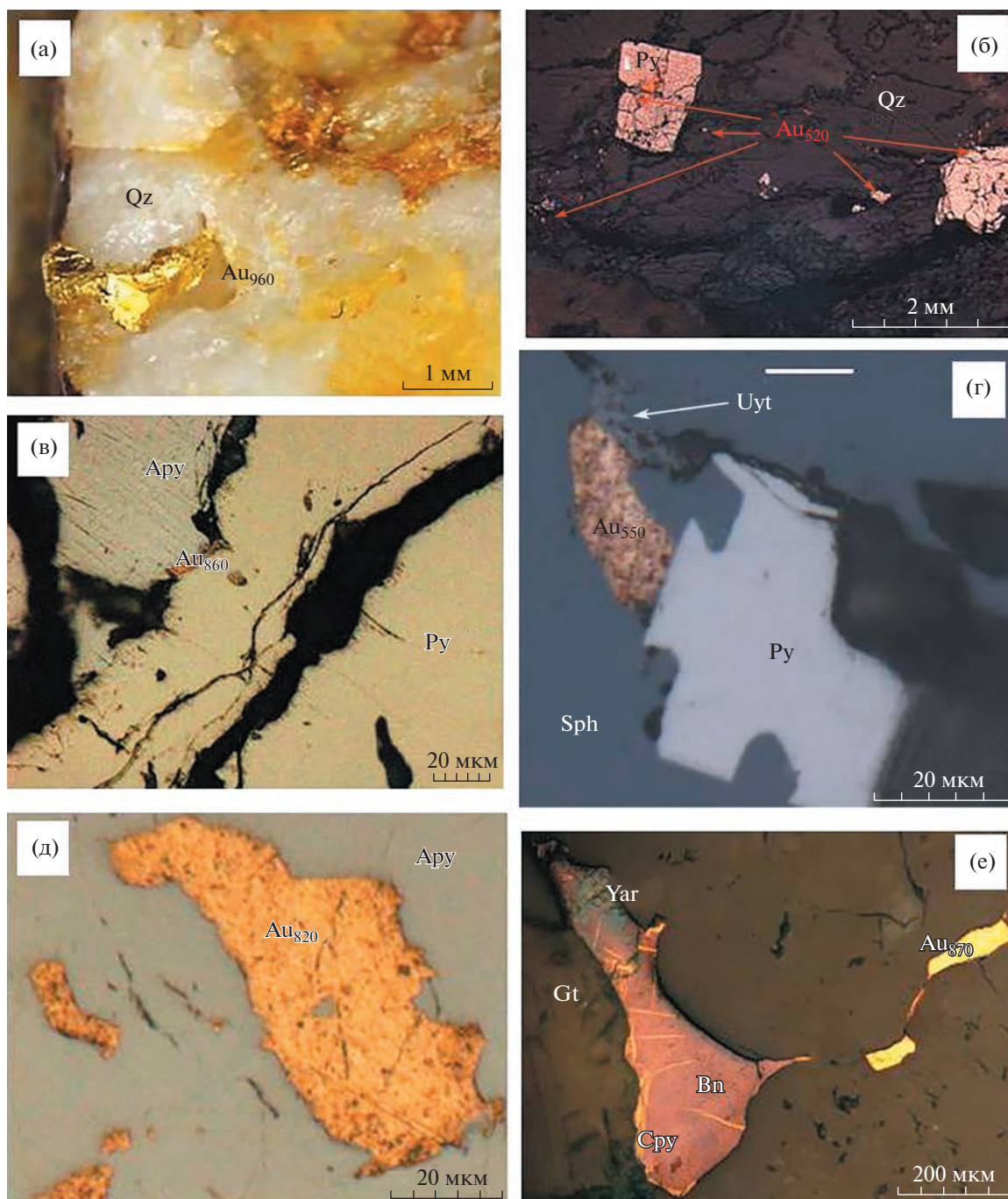


Рис. 2. Фотографии самородного золота из рудопоявлений Таймыра и о. Большевик: Нижнелиткенское (а), Видимое (б), Нерпичье (с), Конечнинское (д), Ясенское (е) и Малиновское (ф). Обозначения минералов: Qz – кварц, Py – пирит, Ару – арсенопирит, Uyt – ютенбогаардтит, Sph – сфалерит, Bn – борнит, Сру – халькопирит, Au_N – пробыность самородного золота (‰).

цирует с кварцем, Ni-содержащим пиритом, халькопиритом и галенитом.

На рудопоявлении Видимое самородное золото также высокой пробыности (940–980‰), преимущественно ячеистое и комковидное, заполняет микротрещины, поры в кварце, пирите и других минералах. В пирите обнаружены много-

численные включения пирротина, халькопирита и сфалерита, захваченные во время роста. Арсенопирит, галенит, теллуриды висмута, халькопирит и самородное золото отложились позже, т.к. выполняют трещины в пирите.

На рудопоявлении Нерпичье (зона кварцевых жил и прожилков в черных сланцах) самород-

Таблица 1. Характеристика и результаты РСМА самородного золота (в мас. %) рудопроявлений Таймыро-Североземельского орогена

МЗ	Рудопроявления	Размер	Форма	Структура	Состав, мас. %					N _{Au} , %	Формула	Минеральные ассоциации
					Au	Ag	Cu	Zn*	Fe*			
Мининско-Большевская многостокная	Нижнелиткенское	<7 мм	ксеноморфная	однородная	95.96	4.15				960	Au _{0.96} Ag _{0.04}	Qz, Ni-Py, Cpy, Ga
	Видимое	2–200 мкм	трещинно-прожилковая	однородная	93.5	6.5	<	<	<	940	Au _{0.93} Ag _{0.07}	Qz, Py, Asp
		до 2 мм	ячеистое, комковидное	однородная	98.0	2	<	<	<	980	Au _{0.96} Ag _{0.04}	Qz, Py, Asp, Gt, Yarz, Scor
	Нерпичье	2–30 мкм	прожилковая, округлая, ксеноморфная	однородная	84.39	13.18	<	<	2.43	860	Au _{0.72} Ag _{0.21} Fe _{0.07}	Qz, Py, Asp, Cpy
	Конечнинское	5–20 мкм	Ксеноморфная	неоднородная	94.56	3.72			1.72	960	Au _{0.88} Ag _{0.06} Fe _{0.06}	
Шренк-Фадеевская акреционная	Ясенское	5–10 мкм	ксеноморфная	однородная	52.82	43.12	<	4.06	<	550	Au _{0.39} Ag _{0.53} Zn _{0.08}	Py, Asp, Ga, Sph, Uyt
		5–10 мкм	ксеноморфная	однородная	83.03	16.97	<	<	<	830	Au _{0.73} Ag _{0.27}	
	2–80 мкм	5–10 мкм	прожилковая, округлая	однородная	59.28	4.73	33.56	1.49	0.95	—	Cu _{2.3} Au _{1.3} Ag _{0.2} Fe _{0.1} Zn _{0.1}	Qz, Py, Nkd, Cpy
		5–10 мкм	ксеноморфная	однородная	77.99	17.1	<	<	3.26/ 1.66	820	Au _{0.6} Ag _{0.2} Fe _{0.1} S _{0.1}	Qz, Py, Cpy, Nkd, Kfs, Asp, Ten-Tet, Dol
		2–80 мкм	прожилковая, округлая	однородная	84.62	14.7	<	<	0.68	830	Au _{0.74} Ag _{0.24} Fe _{0.02}	Qz, Asp, Py, Kfs, Chl
Малиновское	до 150 мкм		трещинно-прожилковая	неоднородная	83.37	14.44			2.19	850	Au _{0.71} Ag _{0.22} Fe _{0.07}	
					91.84	8.16	<	<	<	920	Au _{0.86} Ag _{0.14}	Qz, Bn, Cpy, Yar, Anl, Gt, Del, Tenr
					87.24	12.76	<	<	<	870	Au _{0.79} Ag _{0.19}	

Примечание: МЗ – минералогическая зона; пробы – N_{Au} = Au/(Au + Ag) × 1000%; < – меньше предела чувствительности. Qz – кварц, Kfs – калиевый полевой шпат, Dol – доломит, Chl – хлорит, Au_N – самородное золото (N – пробы), Py – пирит, Asp – арсенопирит, Sph – сфалерит, Ga – галенит, Cpy – халькопирит, Bn – борнит, Nkd – нукундамит, Anl – анилит, Uyt – ютенбогардит, Ag-Ten-Tet – Fe,Zn,Ag-содержащая блеклая руда, Gt – гетит, Yarz – ярозит, Scor – скородит, Yar – ярьорит, Del – деляфоссит, Tenr – тенорит. * примеси в самородном золоте скорее всего захвачены при РСМА-анализе из-за малых размеров зерен. Анализ на MIRA 3 LMU (Аналитический центр многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, Россия, Новосибирск) выполнен при ускоренном напряжении 20 кВ и токе пучка электронов 1.5 нА. Время набора спектров составляло 15–20 с. В качестве эталонов использованы: на Ag и Au – чистые металлы и Au-Ag-сплавы, на S, Cu, Fe – CuFeS₂, Pb – PbSe, Zn – ZnS. Пределы обнаружения элементов составляли десятые доли процента. Погрешность определения основных компонентов (>10–15 мас. %) не превышала 1 отн. %, а компонентов с концентрациями 1–10 мас. % – <2 отн. %.

ное золото пробностью 860–960‰ ассоциирует с пиритом, арсенопиритом и халькопиритом и заполняет трещины в кварце. В пирите его зерна пробностью (880–920‰) размером 2–10 микрон округлой формы. Халькопирит, заполняющий трещины в As-содержащем пирите, содержит микровключения (2–5 микрон) более высокопробного золота. В зернах пирита присутствуют многочисленные микровключения — Ni-содержащего теннантита-(Fe), кубанита и халькопирита, минералов Bi и Pb.

Самородное золото рудопоявления Конечнинское, образующего штокверковую зону кварц-карбонат-сульфидных прожилков, встречается в ассоциации с пиритом, арсенопиритом, сфалеритом, галенитом, ютенбогаардитом [5]. Его размеры 5–20 микрон, пробность 550–830‰.

В Шренк-Фаддеевской аккреционной зоне рудопоявления Ясенское и Малиновское приурочены к зонам сульфидизации, березитизации, лиственизации в вулкано-плутонических комплексах с возрастом 830–860 и 630–660 млн лет соответственно.

Золото-рудопоявление Ясенское установлено в халькопирит-пирротин-пиритовой и арсенопирит-тетраэдрит-галенит-пиритовой ассоциациях. В первой ассоциации в межзерновом пространстве пирита, нукундамита выявлены минералы серии аурикуприд (AuCu_3)—тетрааурикуприд (AuCu). Оно содержит примеси Ag (до 5 мас. %). Во второй ассоциации самородное золото (830–850‰) обнаружено в виде микровключений (2–80 микрон) в арсенопирите и пирите в кварц-калишпат-хлоритовом агрегате. В зональном пирите 3-й генерации пентагондодекаэдрического габитуса обнаружены микровключения самородного золота (820‰) вместе с микровключениями арсенопирита, халькопирита, галенита, Ag-содержащего теннантита-(Fe), сфалерита, циркона, монацита, рутила и ксенотима.

Самородное золото рудопоявления Малиновское, выявленное в жильном кварце среди березитов, располагается в трещинах и находится в сростании с борнитом и халькопиритом, имеет размер до 130 микрон и вариации пробности от 870 до 920‰. В крупных зернах борнита обнаружены микровключения гессита (Ag_2Te). Борнит и халькопирит замещаются яроуитом (Cu_9S_8), анилитом (Cu_7S_4), гетитом FeOOH , делафосситом (CuFeO_2), теноритом (CuO).

Наиболее общие тенденции изменения минерального состава золотоносных ассоциаций рудопоявлений разных минерагенических зон (табл. 1) сводятся к следующему. В Мининско-Большевицкой орогенной зоне на рудопоявлениях золото-кварцевой формации Нижнелиткенское, Видимое самородное золото высокопробное (940–980‰), главные минералы — кварц и

пирит, второстепенные арсенопирит и теллуриды висмута. В орогенных рудопоявлениях Нерпичье и Конечнинское самородное золото более низкопробное (960–830 до 550‰), главные минералы — пирит, арсенопирит, халькопирит, второстепенные — сфалерит, галенит, ютенбогаардит, редко встречаются минералы висмута. В пределах Шренк-Фаддеевской аккреционной зоны на рудопоявлениях золото — сульфидно-кварцевой формации Ясенское, Малиновское самородное золото средней пробности (820–920‰), в реликтах на Ясенском проявлении выявлено медистое золото, главные минералы — пирит, халькопирит, иногда борнит, второстепенные — арсенопирит, сфалерит, теллуриды серебра.

В кварце рудных жил с золотом из проявлений Нижнелиткенское (о-в Большевик), Видимое, Нерпичье, Конечнинское (Западный Таймыр), Ясенское и Малиновское (Северо-Восточный Таймыр) присутствуют двухфазные ФВ, содержащие жидкость и пузырь газа (тип L), а также существенно газовые флюидные включения, содержащие преимущественно газ (тип V) (рис. 3). В кварце золоторудных проявлений Нерпичье, Конечнинское и Малиновское двухфазные ФВ и газовые ФВ обогащены CO_2 и содержат ее жидкую фазу (типы L1 и V1). Все обнаруженные флюидные включения характеризуются очень малым размером не более 10 мкм. Вторичные включения, отчетливо приуроченные к системам трещин, преобладают в образцах. Для исследования методами термобарогеохимии выбирались ФВ, которые не обладают явными признаками вторичного происхождения, т.е. не приурочены к системам трещин. В кварце присутствуют сообщества первичных ФВ, не приуроченных к трещинам, которые включают в себя как газовые, так и жидкие ФВ, находящихся в тесной ассоциации. Это свидетельствует о том, что в системе в момент отложения присутствовало два флюида: жидкий и газобразный, образовавшиеся при фазовой сепарации флюида (рис. 3 а).

По данным изучения ФВ методом КР-спектроскопии в газовой фазе содержится CO_2 , N_2 и CH_4 в переменном количестве (рис. 4 а). ФВ рудопоявлений Мининско-Большевицкой многоэпизодической зоны характеризуются большим относительным количеством N_2 и CH_4 в своем составе по сравнению с проявлениями Шренк-Фаддеевской зоны.

Температура гомогенизации флюидных включений золоторудных проявлений Таймыро-Североземельского орогена охватывает интервал от 310 до 105°C (рис. 4 б, табл. 2). Плавление эвтектики двухфазных ФВ происходит в интервале температуры от –25 до –23.2°C, что близко к эвтектике водно-солевой системы $\text{NaCl} + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ — –23.5°C [10]. В двухфазных ФВ (тип L)

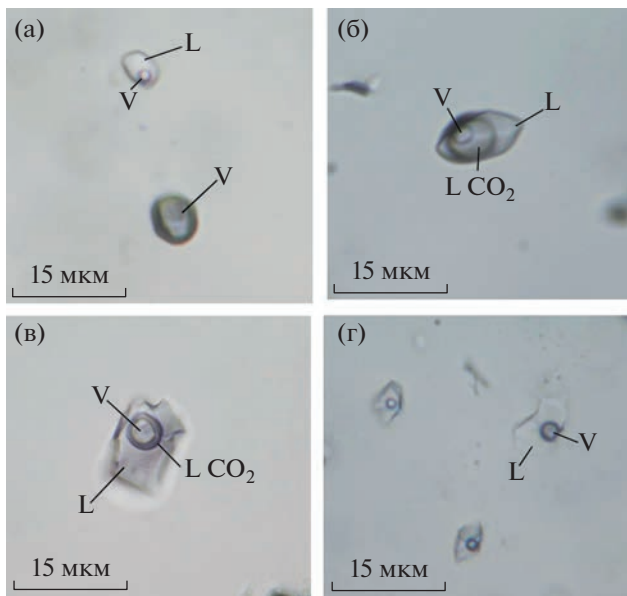


Рис. 3. Рудопоявление Нижнелиткенское (о-в Большевик), двухфазное (тип L) и газовое (тип V) флюидные включения синхронного захвата (а); месторождение Конечнинское газовое флюидное включение (тип V1), обогащенное CO_2 (б); рудопоявление Малиновское, двухфазное флюидное включение (тип L1) (с); рудопоявление Ясенское, двухфазные флюидные включения (тип L) (д).

при охлаждении вымораживается твердая фаза, которая идентифицировалась, как газовый клатрат-гидрат (ГКГ), либо как лед, если ее плавление происходило соответственно при температуре выше или ниже 0°C . Соленость ФВ на месторожде-

ниях (Видимое, Нижнелиткенское, Нерпичье и Ясенское) определялась по температуре плавления льда и варьирует от 9.7 до 1.7 мас. % в экв. NaCl [10].

Расчет солености двухфазных ФВ в эквиваленте системы $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ по температуре плавления ГКГ проведен только для проявлений Малиновское и Конечнинское, в которых в составе газовой фазы преобладает CO_2 от 100 до 96 мол. % [11, 12]. Согласно этим расчетам, двухфазные ФВ характеризуются средним составом $X_{\text{NaCl}} = 0.005$, $X_{\text{CO}_2} = 0.065$, $X_{\text{H}_2\text{O}} = 0.930$ и $X_{\text{NaCl}} = 0.07$, $X_{\text{CO}_2} = 0.144$, $X_{\text{H}_2\text{O}} = 0.849$ соответственно. Соленость двухфазных ФВ проявлений Малиновское и Конечнинское варьирует от 4.5 до 1.0 и от 3.4 до 1.8 мас. % в экв. NaCl соответственно (рис. 4 б, табл. 2). Таким образом, соленость двухфазных ФВ в жильном кварце золоторудных месторождений Таймыро-Североземельского орогена варьирует от 9.7 до 1.7 мас. % в экв. NaCl (рис. 4 б, табл. 2).

Для средних составов жидкой фазы ФВ проявлений Малиновское и Конечнинское в эквиваленте системы $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ были рассчитаны и построены кривые растворимости и изохоры по алгоритму Мэтью Стил-Макиннис [12]. На этом основании для рудопоявлений Малиновское и Конечнинское была сделана предварительная оценка минимального давления захвата ФВ. По результатам этих расчетов ФВ рудопоявлений Малиновское и Конечнинское могли быть захвачены при давлении не ниже 100 и 96 МПа соответственно (рис. 4 в).

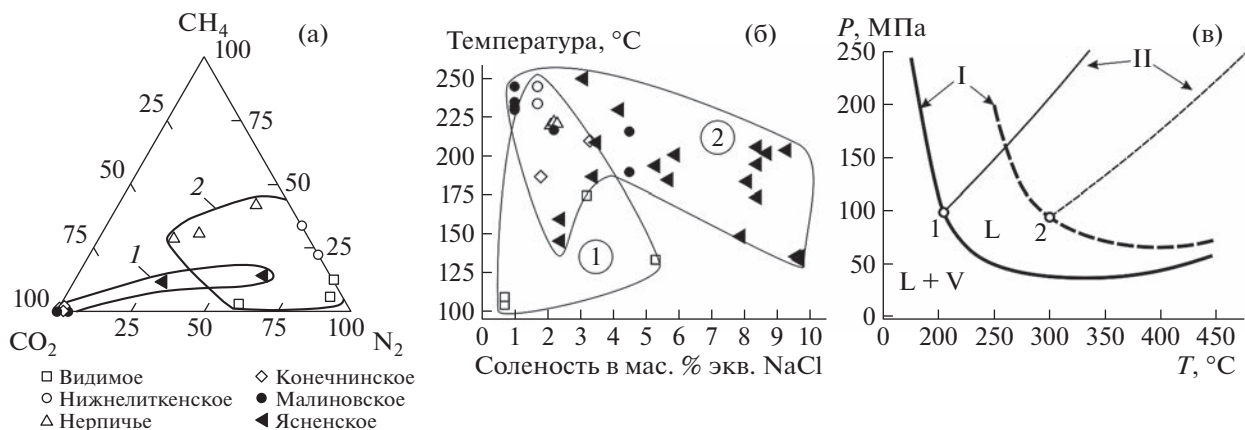


Рис. 4. (а) — диаграмма состава газовой фазы флюидных включений в кварце золоторудных проявлений Таймыро-Североземельского орогена. Поля составов газовой фазы ФВ: (1) — проявления Шренк-Фадеевской зоны (Малиновское, Ясенское); (2) — проявления Мининско-Большевитской миогеосинклинальной зоны (Видимое, Нижнелиткенское, Конечнинское, Нерпичье); (б) — температура гомогенизации и общая соленость жидкой фазы ФВ золоторудных проявлений Таймыро-Североземельского орогена. Проявления Мининско-Большевитской миогеосинклинальной зоны (1) и проявления Шренк-Фадеевской зоны (2); (в) — кривые растворимости (I) и изохоры (II), рассчитанные по Мэтью Стил-Макиннис [12] и Конечнинское (пунктир) в эквиваленте системы $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$. P - T -координаты точек (1 и 2) пересечения изохор с кривыми растворимости близки к параметрам захвата ФВ проявлений Малиновское и Конечнинское соответственно. Однофазная и двухфазная области системы $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$: L — жидкость, L+V — жидкость + газ.

Таблица 2. Результаты изучения флюидных включений методами термо- и криометрии

Месторождение	Тип ФВ	N	Th	Teu	Tm газового клатратгидрата и льда	Th CO ₂ и тип гомогенизации	Соленость мас. % экв. NaCl	Состав газовой фазы
Нижнелиткенское	L	8	300–170 (l)	–23.2	+3.0...–1.0	–	1.7*	N ₂ –CH ₄
Видимое	L	10	178–105 (l)	–24.6	+2.7...–1.9	–	5.3–0.7*	N ₂ –CH ₄ –CO ₂
Нерпичье	L	3	222–221 (l)	–23.7	–1.2...–1.4	–	2.3–2.1*	N ₂ –CH ₄ –CO ₂
– “ –	V1	4	307–305(v)	–23.5	+10.8...+10.7	+15.2(v)	0.2**	CO ₂ –N ₂ –CH ₄
Конечнинское	L1	2	210–187 (l)	–24.7	+10...+8.3	+25.6 (v)	3.4**	CO ₂ –N ₂ –CH ₄
Малиновское	L1	10	245–190 (l)	–23.9	+9.5...+8.9	+31.6 (v)	4.5–1.0**	CO ₂ –N ₂
– “ –	L1	2	305–298 (c)	–24...–23	+9.1	+21.3 (l)	1.8*	CO ₂ –N ₂ –CH ₄
Ясенское	L	19	250–136 (l)	–25...–23	–6.4...–1.4	–	9.7–2.4*	N ₂ –CO ₂ –CH ₄

Примечание: * – соленость рассчитана в эквиваленте системы NaCl + H₂O и ** – в эквиваленте системы NaCl + H₂O + CO₂; Сокращения: ФВ – флюидное включение; N – количество изученных ФВ; Th – температура гомогенизации и ее тип; (c) – с критическими явлениями, (v) – в газовую и (l) – в жидкую фазу; Teu – температура эвтектики, Tm – температура плавления.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Предварительные данные изучения ФВ в рудном кварце золоторудной минерализации Таймыро-Североземельского орогена свидетельствуют о том, что месторождения золота образовались из водно-углекислотного флюида низкой – умеренной солености (H₂O + CO₂ ± N₂ ± CH₄ + NaCl + KCl) в результате фазовой сепарации флюида из-за падения давления при температурах от 310 до 105°C. Эта обстановка типична для большинства известных орогенных месторождений [1, 14, 15]. Выявлено существенное различие в составе газовой рудообразующих флюидов месторождений: Нижнелиткенское, Видимое и Нерпичье – N₂ и CH₄; Малиновское Конечнинское и Ясенское – CO₂, N₂ и CH₄. Основными солевыми компонентами флюидов являются NaCl и KCl. Первые результаты расчетов давления (заниженные из-за присутствия N₂ и CH₄ в составе флюидных включений) показывают, что образование золоторудных проявлений в аккреционных и орогенных условиях могло происходить при близком давлении (Малиновское, 100 МПа и Конечнинское, 96 МПа). Данные КР-спектроскопического изучения ФВ позволяют сказать, что рудообразующие флюиды золото-сульфидно-кварцевых рудопроявлений в аккреционных вулканогенно-плутонических комплексах Шренк-Фадеевской зоны, отвечающих по Н.А. Горячеву [13] до орогенной стадии (предыстории орогенной стадии), являются более окисленными и менее солеными по сравнению с золото-кварцевыми проявлениями орогенной формации в терригенных образованиях пассивной окраины Мининско-Большевитской миогеосинклинальной зоны.

Геодинамическая обстановка (приуроченность рудопроявлений к пассивноокраинным и аккреционным образованиям, широкое развитие

гранитоидов орогенного типа), вмещающие породы (метаморфизованные в зеленосланцевой фации углеродистые терригенные и вулканогенно-терригенные толщи), гидротермально-метасоматические изменения, сопровождающие оруденение (березитизация, лиственитизация), ассоциация самородного золота с пиритом и арсенопиритом, преимущественно высокая пробность самородного золота, а также физико-химические условия образования позволяют отнести рассматриваемые рудопроявления Карской минерагенической области к классу потенциальных орогенных месторождений золота [13–17].

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках гранта Министерства науки и высшего образования РФ № 13.1902.21.0018 “Фундаментальные проблемы развития минерально-сырьевой базы высокотехнологичной промышленности и энергетики России”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бортников Н.С., Лобанов К.В., Волков А.В. и др. // Геология руд. месторождений. 2015. Т. 57. № 6. С. 3–25.
2. Шануренко Н.К., Фокин В.И., Радица Е.С. Перспективы и проблемы создания сырьевых баз золоторудных и платинометалло-медно-никелевых руд в центральном секторе арктической зоны России. 70 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане. Сборник научных трудов / Под ред. В.Д. Каминского, Г.П. Аветисова, В.Л. Иванова. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2018. 554 с.
3. Сердюк С.С. Золотоносные провинции Центральной Сибири: геология, минерагения и перспективы освоения. Красноярск: КНИИГиМС, 2004. 480 с.
4. Додин Д.А. Минерагения Арктики. Кн. 1. СПб., Наука, 2008, 298 с.

5. *Проскурнин В.Ф., Пальянова Г.А., Карманов Н.С., Багаева А.А., Гавриш А.В., Петрушков Б.С.* Первая находка ютенбогаардита на Таймыре (рудопоявление Конечное) // ДАН. 2011. Т. 441. № 4. С. 1–5.
6. *Проскурнин В.Ф., Гавриш А.В., Петрушков Б.С., Багаева А.А., Шнейдер А.Г., Лоренц Д.А., Салтанов В.А.* Новый тип золото-сульфидно-кварцевого оруденения в аккреционной зоне Таймыра (Результаты поисковых работ на Верхнеленинградской площади) // Регион. геология и металлогения. 2015. № 63. С. 105–117.
7. *Проскурнин В.Ф., Пальянова Г.А., Гавриш А.В., Петрушков Б.С., Багаева А.А., Бортников Н.С.* Геология, минеральные ассоциации и состав самородного золота минеральных месторождений Таймыро-Североземельского орогена // ДАН. 2019. Т. 484. № 1. С. 71–76.
8. *Пальянова Г.А.* Минералы золота и серебра в сульфидных рудах // Геология рудных месторождений. 2020. № 5. С. 426–449.
9. *Vernikovskiy V.A., Vernikovskaya A., Proskurnin V., Matushkin N., Proskurnina M., Kadilnikov P., Larionov A., Travin A.* Late Paleozoic–Early Mesozoic granite magmatism on the Arctic margin of the Siberian Craton during the Kara-Siberia oblique collision and plume events // Minerals. 2020. V. 10 (6), 571. <https://doi.org/10.3390/min10060571>
10. *Roedder E.* Fluid inclusions // Reviews in Mineralogy. 1984. V. 12 (ed. Ribbe P.H.), 644 pp. Mineralogical Society of America, Washington.
11. *Akinfiyev N.N., Diamond L.W.* Thermodynamic model of aqueous $\text{CO}_2\text{--H}_2\text{O--NaCl}$ solutions from -22 to 100°C and from 0.1 to 100MPa // Fluid Phase Equilibria. 2010. V. 295. P. 104–124.
12. *Steele-MacInnis M.* Fluid inclusions in the system $\text{H}_2\text{O--NaCl--CO}_2$: An algorithm to determine composition, density and isochore // Chemical Geology. 2018. V. 498. P. 31–44.
13. *Горячев Н.А.* Золоторудообразующие системы орогенных поясов // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2006. № 1. С. 2–16.
14. *Kerrick R., Goldfarb R., Groves D., Garwin S. Jia Yiefei.* The characteristics, origins, and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces // Science in China (ser. D). 2000. 43. Supp. P. 1–68.
15. *Groves D.I., Goldfarb R.J., Robert F., Hart C.Jr.* Gold deposits in metamorphic belts: Overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance // Economic Geology. 2003. V. 98. P. 1–29.
16. *Прокофьев В.Ю.* Геохимические особенности рудообразующих флюидов гидротермальных месторождений золота различных генетических типов (по данным исследования флюидных включений). Новосибирск: Наука, 2000. 192 с.
17. *Бортников Н.С., Прокофьев В.Ю., Викентьева О.В.* Источники, состав и РТ параметры флюидов в мезотермальных золотообразующих системах. В сб. Новые горизонты в изучении процессов магмо- и рудообразования. Материалы научной конференции, место издания ИГЕМ РАН Москва, 2010. С. 406–407.

PHYSICO-CHEMICAL CONDITIONS FOR THE FORMATION OF PRODUCTIVE MINERAL ASSOCIATIONS OF GOLD DEPOSITS OF THE TAIMYR-NORTH EARTH ORGEN

A. A. Borovikov^{a, #}, V. F. Proskurnin^{b, ##}, G. A. Palyanova^{a, ###},

Corresponding Member of the RAS O. V. Petrov^c, and Academician of the RAS N. S. Bortnikov^c

^a*Institute of Geology and Mineralogy V.S. Soboleva of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

^b*Karpinsky All-Russian Research Geological Institute, St. Petersburg, Russian Federation*

^c*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[#]*E-mail: borovik@igm.nsc.ru*

^{##}*E-mail: Vasily_Proskurnin@vsegei.ru*

^{###}*E-mail: palyan@igm.nsc.ru*

For the first time, based on the data of the study of fluid inclusions, the PTX parameters of the formation of gold mineralization of the Taimyr-Severozemelsky orogen were established. The temperature of formation of gold ores covers the range from 310 to 105°C , the pressure was not lower than $110\text{--}96\text{ MPa}$. The ore-forming fluids were characterized by $\text{NaCl} + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2$ composition and salinity up to $9.7\text{ wt. \%}$ in equiv. NaCl . The composition of native gold (fineness varies from 960 to 550‰) and minerals of productive mineral associations has been determined. Ore-forming fluids of gold-sulfide-quartz ore occurrences of the accretionary Schrenk-Fadeevskaya zone (Yasnenskoye and Malinovskoye in North-East Taimyr) are more oxidized and less saline compared to the gold-quartz occurrences of the orogenic type of the Mininsko-Bolshevitskaya myogeoclinal zone (Nizhnelitkenskye, Vidimoe, Nerpichye).

Keywords: deposits of the Taimyr-Severozemelsky orogen, gold mineralization, PTX parameters and fluid composition