

УДК 549.283.02 : 552.13 : 553.411 (571.511)

## ГЕОЛОГИЯ, МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ И СОСТАВ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА МИНЕРАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТАЙМЫРО-СЕВЕРОЗЕМЕЛЬСКОГО ОРОГЕНА

В. Ф. Проскурнин<sup>1</sup>, Г. А. Пальянова<sup>2,3,\*</sup>, А. В. Гавриш<sup>1</sup>,  
Б. С. Петрушков<sup>1</sup>, А. А. Багаева<sup>1</sup>, академик РАН Н. С. Бортников<sup>4</sup>

Поступило 06.09.2018 г.

Разнообразие размеров и морфологии зёрен, химического состава и минеральных продуктивных ассоциаций самородного Au новых рудопоявлений Западного и Центрального Таймыра двух минерагенических зон (Мининско-Большевицкая миогеоклиналиная, Шренк-Фаддеевская аккреционная) свидетельствуют о сложном многокомпонентном составе рудообразующих систем и различиях в физико-химических условиях формирования золоторудной минерализации. Полученные данные по характеристикам самородного Au совместно с особенностями геологического строения объектов свидетельствуют о значительном золоторудном потенциале Центрального сектора Арктики России.

*Ключевые слова:* рудопоявления самородного золота, Западный и Центральный Таймыр, Арктика России.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5652484171-76>

В арктической зоне Российской Федерации сосредоточена уникальная минерально-сырьевая база, способная на многие десятилетия обеспечить развитие высокотехнологичного производства, экономики страны и её национальную безопасность [1]. Однако детальные исследования минеральных месторождений выполнены лишь на небольшой части территории и она остаётся очень слабо изученной, что затрудняет прогнозирование перспективных площадей.

В нашей работе приведено описание золоторудных проявлений в новой Таймыро-Североземельской провинции Центрального сектора Арктики России [2, 3], ресурсы Au в котором оценены в 2574 т [4]. Особое внимание уделено характеристике самородного Au и его минеральным ассоциациям, поскольку они наиболее полно отражают условия образования золоторудных месторождений [5].

Исследованные минеральные месторождения приурочены к Карской редкометалло-золотоносной

минерагенической области Таймыро-Североземельского орогенного пояса (рис. 1) [5–7]. Карская область подразделена на две зоны: Мининско-Большевицкую, сложенную углеродистыми флишоидно-терригенными толщами, претерпевшими зональный региональный андалузит-силлиманитовый метаморфизм, и Шренк-Фаддеевскую с вулканогенно-карбонатно-терригенно-углеродистыми аккреционными образованиями.

Взаимоотношения и химический составы минералов исследованы методами оптической и сканирующей электронной микроскопии с помощью сканирующего электронного микроскопа MIRA 3 LMU (Tescan Orsay Holding), оснащённом системой микроанализа INCA Energy 450+ и волновым спектрометром INCA Wave 500, Oxford Instruments Nanoanalysis Ltd.

Минеральные месторождения Мининско-Большевицкой зоны залегают в зеленосланцево-метаморфизованных флишоидных терригенных углеродистых комплексах и связаны с тиманским орогенезом и внедрением позднепалеозойских гранитоидных батолитов.

Месторождение Видимое находится на северном побережье Западного Таймыра между мысами Сапожок и Обходной. Минерализация встречена в виде зоны кварцевых прожилков, включающей жилу мощностью 4–5 см. Она косо сечёт слоистость метапесчаников позднего рифея–венда. Рудные минералы (до 2%) представлены преимущественно

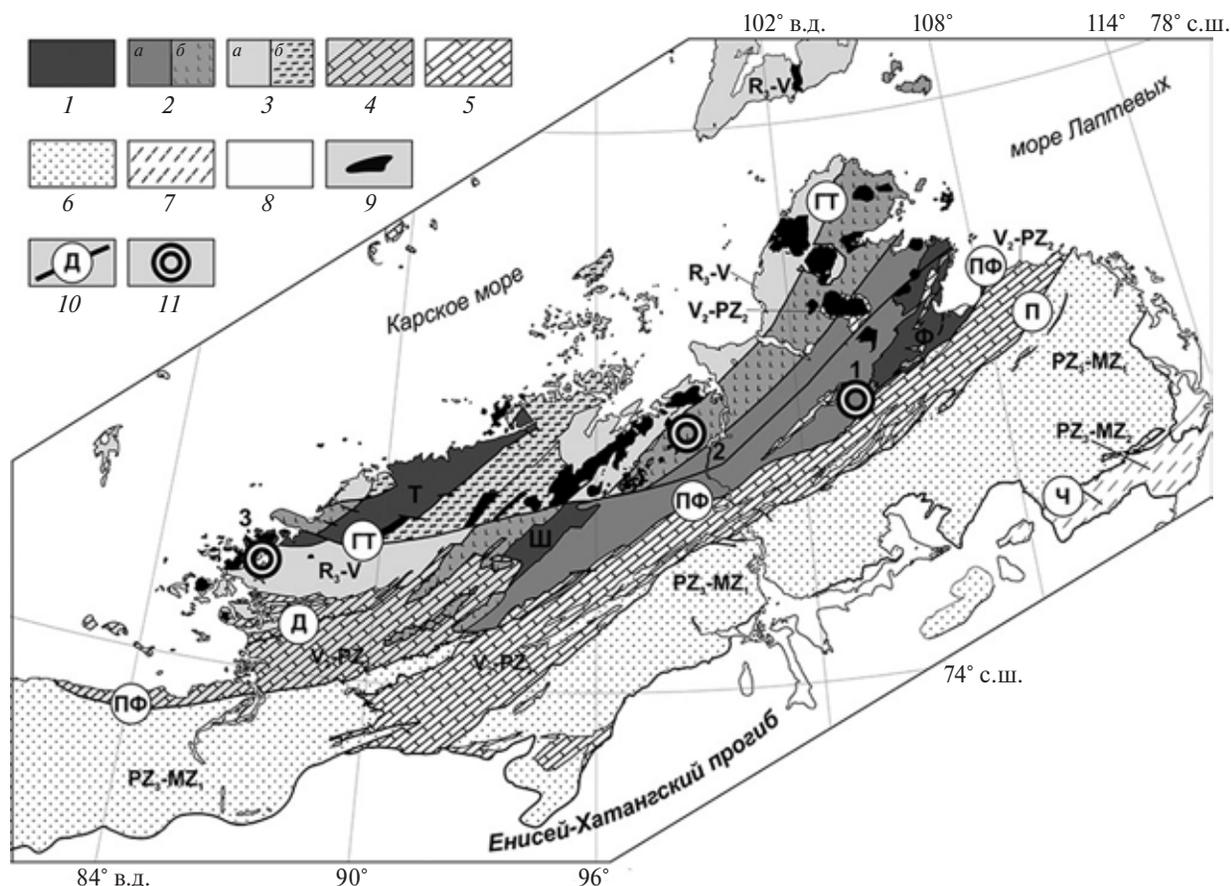
<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск

<sup>3</sup> Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

<sup>4</sup> Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии наук, Москва

\* E-mail: [palyan@igm.nsc.ru](mailto:palyan@igm.nsc.ru)



**Рис. 1.** Схема минерагенического районирования Таймыро-Североземельского орогена на структурно-геологической основе [4]. Карская область: 1 — кратонные террейны (Ф — Фаддеевский, Ш — Шренковский, Т — Тревожнинский); 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 — поздневендско-среднепалеозойские эпиплатформенные отложения черносланцевой зоны. Быррангская область: 5 — поздневендско-среднепалеозойские эпиплатформенные отложения переходной и карбонатной зон; 6 — позднепалеозойско-раннемезозойские терригенные, трапповые и интрузивные эпиплатформенные образования. Восточнотаймырско-Оленёкская область: 7 — позднепалеозойско-среднемезозойские терригенные эпиплатформенные образования; 8 — юрско-кайнозойский чехол; 9 — позднепалеозойские гранитоиды; 10 — главные разломы (ГТ — Главный Таймырский, Д — Диабазовый, ПФ — Пясино-Фаддеевский, П — Пограничный, Ч — Чернохребетнинский); 11 — рудные узлы: 1 — Верхнеленинградский, 2 — Малиновско-Гагаринский, 3 — Конечнинский.

пиритом и самородным Au. В пирите установлены многочисленные включения пирротина, халькопирита, сфалерита, захваченные во время роста. Арсенопирит, галенит, теллуриды висмута, халькопирит, самородное Au отложились позже, так как выполняют трещины в пирите. Содержание Au в зоне минерализации 0,95–96,5 г/т.

Самородное Au наблюдали макроскопически в виде зёрен до 6 мм и под микроскопом (зёрна преимущественно 100–300 мкм). Оно приурочено к трещинам в кварце и пирите (рис. 2а). Содержание Ag в нём 6–7 мас.%. Для него характерна пробность 930–940‰ (табл. 1). Золото из протолок — ячеистой и комковидной форм 1–2 мм (рис. 2б).

Комковидные наросты обнаружены на поверхности кристаллов пирита, арсенопирита. Они нередко ассоциируют с гётитом, ярозитом, скородитом, что предполагает гипергенное образование Au. Пробность более высокая — до 980‰.

Месторождение Нерпичье сложено карбонатно-кварцевой жилой мощностью 10–15 см, залегающей согласно направлению кливажа в черносланцевых толщах позднего рифея—венда. Жила зональная: её центр сложен кварцем, а зальбанды — анкеритом с метакристаллами пирита. Содержания Au до 3,78 г/т.

Самородное Au вместе с пиритом, арсенопиритом, халькопиритом, заполняют трещины в кварце. Минерал образует прожилки (5 × 30 мкм) на границе зёрен

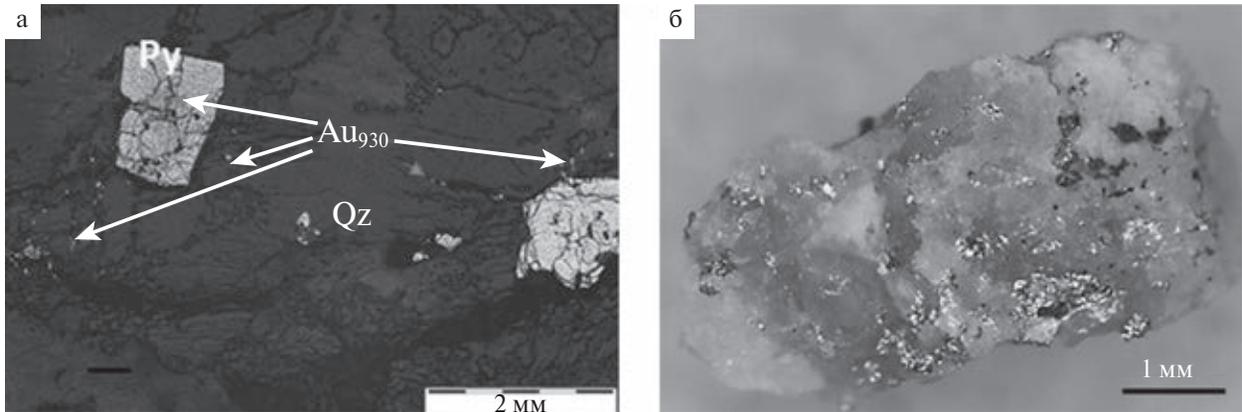


Рис. 2. Фото самородного Au минерального месторождения Видимое: а — самородное Au в трещинах пирита, кварца, б — кварц с видимым Au.

Таблица 1. Характеристика и результаты РСМА самородного Au (мас.%) минеральных месторождений Таймыро-Североземельского орогена.

Зона	Месторождение	Размер	Форма	Структура	Состав, мас.%					N <sub>Au</sub> , %	Формула	Минеральная ассоциация
					Au	Ag	Cu	Zn*	Fe*			
Мининско - Большевикская миогеоклиная	Видимое	2–200 мкм	Трещинно-прожилковая	Однородная	93,5	6,5	<	<	<	930 940	Au <sub>0,93</sub> Ag <sub>0,07</sub>	Qz, Py, Asp
		До 2 мм	Ячеистое, комковидное, наросты	Однородная	98,0	2	<	<	<	980	Au <sub>0,96</sub> Ag <sub>0,04</sub>	Qz, Py, Asp, Gt, Yarz, Scor
	Нерпичье	2–30 мкм	Прожилковая, округлая, ксеноморфная	Однородная	84,39	13,18	<	<	2,43	860	Au <sub>0,72</sub> Ag <sub>0,21</sub> Fe <sub>0,07</sub>	Qz, Py, Asp, Cpy
					94,56	3,72	<	<	1,72	960	Au <sub>0,88</sub> Ag <sub>0,06</sub> Fe <sub>0,06</sub>	
Конечнинское	5–20 мкм	Ксеноморфная	Неоднородная	52,82	43,12	<	4,06	<	550	Au <sub>0,39</sub> Ag <sub>0,53</sub> Zn <sub>0,08</sub>	Py, Asp, Ga, Sph, Uyt	
				83,03	16,97	<	<	<	830	Au <sub>0,73</sub> Ag <sub>0,27</sub>		
Шренк-Фалдеевская аккреционная	Ясенское	5–10 мкм	Ксеноморфная	Однородная	59,28	4,73	33,56	1,49	0,95	—	Cu <sub>2,3</sub> Au <sub>1,3</sub> Ag <sub>0,2</sub> Fe <sub>0,1</sub> Zn <sub>0,1</sub>	Qz, Py, Nkd, Cpy
		5–10 мкм	Ксеноморфная	Однородная	77,99	17,1	<	<	3,26/ 1,66	820	Au <sub>0,6</sub> Ag <sub>0,2</sub> Fe <sub>0,1</sub> S <sub>0,1</sub>	Qz, Py, Cpy, Nkd, Kfs, Asp, Dol
		2–80 мкм	Прожилковая, округлая	Однородная	84,62 83,37	14,7 14,44	<	<	0,68 2,19	830 -850	Au <sub>0,74</sub> Ag <sub>0,24</sub> Fe <sub>0,02</sub> Au <sub>0,71</sub> Ag <sub>0,22</sub> Fe <sub>0,07</sub>	Qz, Asp, Py, Kfs, Chl
	Малиновское	до 150 мкм	Трещинно-прожилковая	Неоднородная	91,84 87,24	8,16 12,76	<	<	<	920 870	Au <sub>0,86</sub> Ag <sub>0,14</sub> Au <sub>0,79</sub> Ag <sub>0,19</sub>	Qz, Bn, Cpy, Yar, Anl, Gt, Del, Tenr

Примечание. Пробность (N<sub>Au</sub> = Au/(AuAg)\*1000% — меньше предела чувствительности. Qz — кварц, Kfs — калиевый полевой шпат, Dol — доломит, Chl — хлорит, N<sub>Au</sub> — самородное золото (N — пробность), Py — пирит, Asp — арсенопирит, Sph — сфалерит, Ga — галенит, Cpy — халькопирит, Bn — борнит, Nkd — нукундамит, Anl — анилит, Uyt — ютенбогаардтит, Gt — гётит, Yarz — ярозит, Scor — скородит, Yar — ярроуит, Del — делафоссит, Tenr — тенорит. \* примеси в самородном золоте, скорее всего, захвачены при РСМА анализе из-за малых размеров зёрен. Анализы на MIRA 3 LMU (Аналитический центр многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, Новосибирск) выполнены при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе пучка электронов 1,5 нА. Время набора спектров составляло 15–20 с. В качестве эталонов использованы: на Ag, Au — чистые металлы и Au–Ag-сплавы, на S, Cu, Fe — CuFeS<sub>2</sub>, Pb — PbSe, Zn — ZnS. Пределы обнаружения элементов составляли десятки доли процента. Погрешность определения основных компонентов (> 10–15 мас.%) не превышала 1 отн.%, а компонентов с концентрациями 1–10 мас.%) — меньше 2 отн.%.

арсенопирита и пирита. Пробность Au 840–850‰ (рис. 3а). Микровключения зёрен округлой формы в 2–10 мкм обнаружены в пирите и халькопирите, секущем пирит. Пробность этого самородного Au более высокая: 880–920‰. Пирит содержит до 0,8 мас.% As. Состав арсенопирита ( $\text{FeAs}_{1,0-1,10}\text{S}_{1,0-0,9}$ ) изменяется от стехиометрического до почти максимального содержания As (37,7 ат.%). В арсенопирите выявлены зоны с примесью Co.

Месторождение Конечнинское сложено штокерковой зоной кварц-карбонат (анкерит, сидерит)-сульфидных прожилков мощностью 3–5 см, длиной 75 м. Содержание Au 0,8–38 г/т. Сульфиды арсенопирит, пирит, реже галенит, халькопирит слагают 15–20% прожилка.

Самородное Au ассоциирует с пиритом, арсенопиритом, сфалеритом, галенитом (рис. 3б). Размеры зёрен Au 5–20 мкм. Пробность 550–830‰ (табл. 1). В сростании с самородным Au пробностью 550‰ обнаружен ютенбогаардтит ( $\text{Ag}_3\text{AuS}_2$ ) [8]. Сфалерит

содержит примеси Fe, Cd, Ag, Cu ( $\text{Zn}_{0,94}\text{Fe}_{0,04}\text{Cd}_{0,01}\text{Cu}_{0,01}\text{Ag}_{0,01}\text{S}_{1,00}$ ).

В Шренк-Фаддеевской зоне минеральные месторождения залегают в зеленокаменных терригенно-карбонатно-вулканогенных и плутоногенных комплексах с возрастом 830–860 и 660–630 млн лет [5, 9].

Месторождение Ясенское — линейная зона березитов, листовенитов, заместивших претерпевших диафорез и катаклаз мафиты. В изменённых породах выявлена прожилково-вкрапленная и вкрапленная сульфидная (2–15%) минерализация с золотосодержащими халькопирит-пирротин-пиритовым (1) и арсенопирит-галенит-пиритовым (2) минеральными комплексами. Мощность зоны (со средним содержанием по борздовым пробам 1,32 г/т) до 34 м. Количество сульфидов в зоне 2–15%. Среднее содержание Au 1,32, местами до 3,32 г/т.

Самородное Au в виде микровключений вместе с арсенопиритом, халькопиритом, галенитом

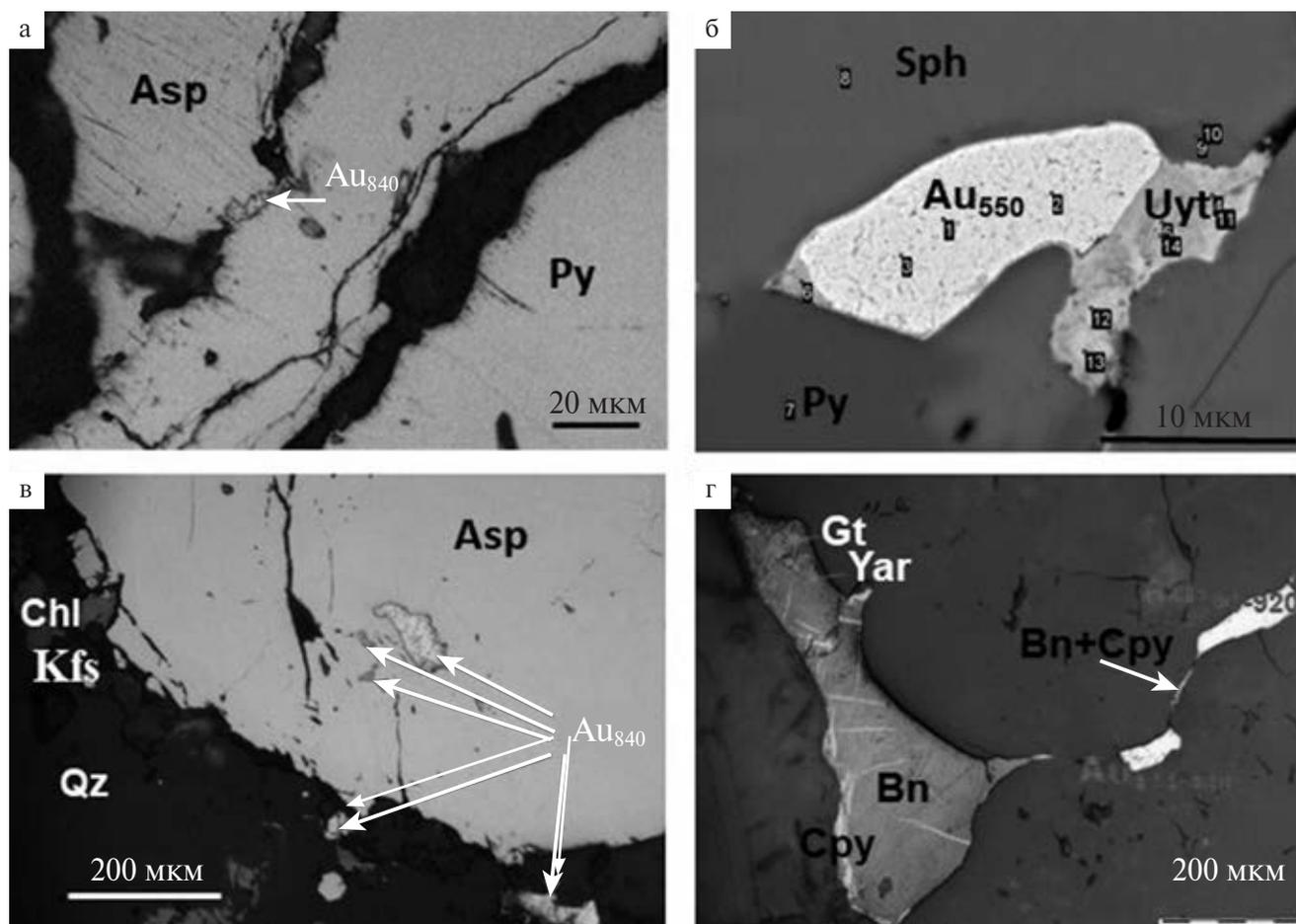


Рис. 3. Оптическое (а-в) и СЭМ (г) фото самородного Au четырёх минеральных месторождений: Нерпичье — прожилок самородного Au между арсенопиритом и пиритом (а); Конечнинское — электрум с ютенбогаардтитовой оторочкой в сростании с пиритом и сфалеритом (б); Ясенское — включения самородного Au в арсенопирите и кварц-КПШ-хлоритовом агрегате (в); Малиновское — самородное Au, борнит с халькопиритом в трещинах кварца (г).

и сфалеритом встречено в пирите и в арсенопирите кварц-КПШ-хлоритового агрегата (рис. 3в). Его пробность 810–850%. Пирит зональный, в нём выявлены зоны с содержаниями 0,6–3,6 мас.% As. Состав арсенопирита близок к стехиометрическому:  $Fe_{1,01-1,02}As_{0,97-1,03}S_{1,02-0,96}$ . В пирите обнаружены циркон (до 1 мас.% Hf), монацит (до 29,9% Ce, 14,1% La, 14,6% Nd, 2,8% Pr, 2,6% Sm), рутил, ильменит (до 1,2 мас.% Mn), ксенотим, витлокит  $Ca_3Mg(PO_4)_6(HPO_4)$ .

“Медистое” золото (размер зёрен 5–20 мкм) встречено в порах и межзерновом пространстве пирита, нукундамита ( $Cu_5FeS_6$ ) и кварца. РСМА этих зёрен лежат между составами  $AuCu_3$  (аурикуприд) и  $AuCu$  (тетрааурикуприд). Возможно, проанализированы сростания двух  $Au-Cu$  — интерметаллидов. РСМА в них < 5 мас.% Ag (табл. 1).

Месторождение Малиновское сложено серией согласных линзовидных и чётковидных кальцит-кварцевых жил и кварцевых прожилков мощностью от нескольких сантиметров до 1,2 м, залегающих в интенсивно катаклазированных и рассланцованных позднерифейских кварцевых диоритах и плагиогранитах. Последние хлоритизированы, серцитизированы и сульфидизированы. Содержание Au в сульфидизированных кварцевых диоритах до 1 г/т.

Самородное Au вместе с борнитом и халькопиритом выполняет трещины в кварце (рис. 3г). Размер его зёрен до 130 мкм. Состав их неоднородный: пробность 790–920% (табл. 1). В борните обнаружен гессит ( $Ag_2Te$ ). Борнит, халькопирит, самородное Au замещено вторичными минералами.

Геодинамическая обстановка (приуроченность месторождений к орогенному поясу и аккреционным образованиям), вмещающие породы (метаморфизованные углеродистые терригенные, вулканогенно-терригенные толщи), изменения вмещающих пород (березитизация, листовитизация), ассоциация самородного Au с пиритом и арсенопиритом, преимущественно высокая пробность самородного Au позволяют отнести рассматриваемые минеральные месторождения провинции к классу орогенных месторождений Au [10].

В месторождениях выявлено разнообразие размеров и морфологии зёрен, химического состава и минеральных продуктивных ассоциаций самородного Au (табл. 1; рис. 2, 3).

Высокопробное Au распространено во всех месторождениях. Однако его пробность существенно различается (табл. 1) от месторождения к месторождению и в одном и том же месторождении. В одних месторождениях пробность Au меняется достаточно широко, в других — в очень узком интервале. Это свидетельствует об изменении физико-химических

условий отложения этого минерала [11]. Высокопробное самородное Au и узкий интервал его состава на месторождениях Видимое, Нерпичье в ассоциации с пиритом свидетельствуют о высоких температурах его отложения [11]. Значительные вариации пробности самородного Au в месторождениях Конечнинское, Ясененское обусловлены более низкими температурами. Смена высокотемпературных ранних минеральных ассоциаций с высокопробным самородным Au низкотемпературными с самородным Au более низкой пробности описана в орогенных месторождениях [12].

Отметим отличие минерального состава золотоносных ассоциаций месторождений. На Видимом, Нерпичьем, Конечнинском, Ясененском главные минералы — кварц, пирит, а на Малиновском — кварц, борнит, халькопирит. Второстепенные минералы на Нерпичьем — арсенопирит, халькопирит; на Конечнинском — арсенопирит, сфалерит, галенит; на Ясененском — сульфиды Fe и Cu (халькопирит, борнит, нукундамит), сфалерит.

Состав самородного Au, разнообразие его золото-минеральных ассоциаций свидетельствуют о сложном многокомпонентном составе рудообразующих флюидов и различиях в физико-химических условиях отложения золоторудной минерализации Таймыро-Североземельского орогенного пояса. Можно полагать, что рассматриваемые минерогенные зоны провинции — тектоно-минерогенные аналоги Витимо-Патомского нагорья и Енисейского кряжа с их уникальными золоторудными месторождениями [4, 13]. Имеющиеся данные пока не позволяют предложить геолого-генетические модели орогенных месторождений описываемой провинции. Они могли быть связаны с метаморфогенно-гидротермальными процессами [14] или с внедрением интрузивных пород и сопровождавшего их контактового метаморфизма, что привело к вовлечению в золотообразующие процессы флюидов магматогенного и метаморфогенного происхождения [15]. Открытие в Таймыро-Североземельском регионе минеральных месторождений с самородным Au позволяют прогнозировать обнаружение промышленных объектов в Центральном секторе Арктики России.

**Благодарности.** Авторы благодарят М.Ф. Верещагина за предоставленные образцы с рудопроявления Малиновское и к.г.-м.н. Н.С. Карманова (ИГМ СО РАН) за аналитические данные.

**Источник финансирования.** Исследование выполнено в рамках госзадания (проекты 0330—2016—0001 и 0136—2018—0034), Госконтрактов № 44 от 30.03.2006 г., № 38 от 19.05.2009 г. и комплексной программы фундаментальных научных исследований СО РАН II.1. № 303.

## 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. Додин Д. А. Минерагения Арктики. СПб.: Наука, 2008. Кн. 1. 298 с.
3. Сафонов Ю. Г. // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 1. С. 142–152.
4. Проскурнин В. Ф. Минерагенический анализ Таймыро-Североземельского региона и оценка его золотоносного потенциала. Автореф. дис. д-ра геол.-минерал. наук. СПб., 2013.
5. Петровская Н. В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 347 с.
6. Шануренко Н. К., Кузьмин В. Г., Русаков Г. А., Фокин В. И. Золоторудные формации Таймыро-Североземельской провинции. В кн.: Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология, СПб; ВНИИОкеангеология, 2002. С. 559–571.
7. Сердюк С. С. Золотоносные провинции Центральной Сибири: геология, минерагения и перспективы освоения. Красноярск, КНИИГиМС, 2004. 480 с.
8. Проскурнин В. Ф., Пальянова Г. А., Карманов Н. С., Багаева А. А., Гавриш А. В., Петрушков Б. С. // ДАН. 2011. Т. 441. №4. С. 527–531.
9. Верниковский В. А. Геодинамическая эволюция Таймырской складчатой области. Новосибирск: Изд-во СО РАН НИЦ ОИГГМ, 1996. 202 с.
10. Groves D. I., Goldfarb R. J., Robert F., Hart C. J. R. // Econ. Geol. 2003. V. 98. P. 1–29.
11. Pal'yanova G. // Chem. Geol. 2008. V. 255. P. 399–413.
12. Бортников Н. С., Прокофьев В. Ю., Раздолина Н. В. // Геология руд. месторождений. 1996. Т. 38. № 3. С. 238–257.
13. Иванов А. И. Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2014. 215 с.
14. Kerrich R., Goldfarb R. J., Richards J. P. // Econ. Geol. 2005. 100th Anniversary Vol. P. 1097–1136.
14. Бортников Н. С., Гамянин Г. Н., Викентьева О. В., Прокофьев Ю. В., Алпатов В. А., Бахарев А. Г. // Геология руд. месторождений. 2007. Т. 49. № 2. С. 99–45.

**GEOLOGY, MINERAL ASSOCIATIONS, AND COMPOSITION  
OF NATIVE GOLD IN MINERAL DEPOSITS  
OF TAIMYR–SEVERNAYA ZEMLYA OROGEN**

**V. F. Proskurnin, G. A. Palyanova, A. V. Gavrish, B. S. Petrushkov,  
A. A. Bagaeva, Academician of the RAS N. S. Bortnikov**

Received September 06, 2018

Diverse grain sizes and morphologies, chemical composition, and productive mineral associations of native Au from new mineralizations within two mineragenic areas (Mininsk–Bolshevik miogeocline, Shrenk–Faddeev accretionary) in Western and Central Taymyr, are indicative of a complex, multi-component composition of ore-forming systems and differences in the physical and chemical conditions of formation of gold ore mineralization. The obtained data on the characteristics of native Au, combined with peculiarities of the geological structure of the objects, suggest a significant gold ore potential of central sector of the Russian Arctic.

*Keywords:* native gold ore mineralization, Western and Central Taimyr, Russian Arctic.