

Влияние металлогении ранних эпох развития Омолонского кратонного террейна (Северо-Восток России) на минералогию и геохимию среднепалеозойских эпипермальных месторождений

Аннотация. Приведены примеры влияния металлогении ранних эпох развития Омолонского кратонного террейна (ОКТ) от архея и протерозоя до рифея и раннего палеозоя на минералогию и геохимию среднепалеозойских эпипермальных Au-Ag месторождений Кедонского вулканического пояса (КВП). Показано, что привнос металлов Fe, Pb, Cu, Au и PGE из древних образований фундамента более молодых вулканических построек КВП служил дополнительным источником вещества при формировании Au-Ag среднепалеозойских эпипермальных руд. Приведённая в статье информация имеет большое практическое значение для региональных прогнозно-металлогенических построений, поисков и оценки месторождений золота.

Ключевые слова: Северо-Восток России, Омолонский кратонный террейн, металлогения, эпипермальные Au-Ag месторождения, минералогия, геохимия, железо, свинец, медь, PGE.

САВВА НАТАЛЬЯ ЕВГЕНЬЕВНА, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник¹,
nsavva7803@mail.ru

ВОЛКОВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией²,
tma2105@mail.ru

КУЗНЕЦОВ ВАСИЛИЙ МАРКОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник³,
kuznetsov12@mail.ru

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук (СВКНИИ ДВО РАН), г. Магадан

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), г. Москва

³ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, г. Санкт-Петербург

Influence of the metallogeny of early development epochs of the Omolon cratonic terrane (Northeastern Russia) on the mineralogy and geochemistry of middle Paleozoic epithermal ore deposits

N. E. SAVVA¹, A. V. VOLKOV², V. M. KUZNETSOV³

¹ FSBIS N. A. Shilo North-East Complex Research Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan

² Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow

³ A. P. Karpinsky All-Russian Research Geological Institute, St. Petersburg

Annotation. Examples are presented of an influence of the metallogeny of early development epochs of the Omolon cratonic terrane (OCT), from the Archean and Proterozoic to the Riphean and early Paleozoic, on the mineralogy and geochemistry of middle Paleozoic epithermal Au-Ag deposits of the Kedon volcanic belt (KVB). It is shown that the input of metals (Fe, Pb, Cu, Au, and PGE) from the ancient basement formations of younger volcanic edifices of the KVB served as an additional source of matter during the formation of middle Paleozoic Au-Ag epithermal ores. The information provided in the article is of great practical importance for regional forecasting metallogenic interpretations, prospecting, and evaluation of gold deposits.

Key words: Northeastern Russia, Omolon cratonic terrane, metallogeny, epithermal Au-Ag deposits, mineralogy, geochemistry, iron, lead, copper, PGE.

Введение. При металлогенических исследованиях одной из главных задач следует считать выявление металлогенической специфики различных эпох развития земной коры в пределах единых территорий, т. е. эволюцию рудообразования во времени [17]. Этот вопрос положительно решается на вещественном уровне и связан с мобилизацией ведущих (специфических) металлов, типоморфных для ранних эпох, и накоплением их в минералах и рудах более молодых образований.

Докембрийские щиты, к которым относится и Омогонский кратонный террейн (ОКТ), – важнейшие источники многих видов минерального сырья для горнодобывающей промышленности в мире. Они вмещают крупнейшие месторождения железа, марганца, золота, хрома, алмазов, платиноидов, никеля, меди, полиметаллов, титана, ванадия, урана и других полезных ископаемых и могут рассматриваться в качестве наиболее перспективных металлогенических провинций на открытие новых крупных месторождений. Однако независимо от широкого спектра минеральных богатств исторически именно золото остаётся наиболее предпочтительным для геологических исследований этих древнейших геологических образований.

Омогонский кратонный террейн – показательный геологический объект для проведения исследований эволюции металлогении во времени. В строении ОКТ выделяется несколько структурных ярусов: дорифейский метаморфический фундамент, нижний ярус чехла, сложенный рифейскими, кембрийскими и ордовикскими в основном карбонатно-терригенными толщами (рис. 1, А), которые перекрываются вулканитами среднепалеозойского Кедонского вулканического пояса (КВП) и позднемезозойского Охотско-Чукотского вулканического пояса (ОЧВП) (см. рис. 1, Б). Каждый из упомянутых выше структурных ярусов имеет свои металлогенические особенности, выражающиеся в формировании многочисленных месторождений и рудопроявлений различных формационных типов [24]. Отмечается, что от архея до позднего мезозоя в ОКТ возрастает степень концентрации элементов от древних к молодым структурно-вещественным комплексам [10, 11]. Разновозрастная и разнообразная металлогения ОКТ с начала изучения вызывает вопросы о причинах высокой рудоносности его территории и источниках рудного вещества.

С юго-востока на северо-запад в пределах ОКТ выделяются три крупных вулканических ареала

КВП: Кедонский, Рассошинский и Токур-Юряхский (см. рис. 1, Б). Суммарная мощность вулканических покровов Кедонского наиболее крупного сегмента достигает 1500–2000 м в центральной части, сокращаясь к окраинным частям до 500–1200 м. Вулканиты залегают на подстилающих толщах с резким угловым несогласием и слагают моноклинали с углами наклона слоёв не более 5–15°. Возраст вулканитов кедонского комплекса определён радиологическими методами (Rb–Sr анализ: 334–377 млн лет) и сравнительно редкими находками органических остатков [8].

В КВП формировались рудные месторождения, типичные для окраинно-континентальных и островодужных вулканоплутонических поясов [4, 24]. В их размещении отмечаются элементы латеральной зональности (в современных координатах) от Cu–Mo–порфирового на востоке, через Au–Ag–эпитермальное к золотоносным джаспероидам на западе [29]. Важная металлогеническая особенность КВП – отсутствие оловорудных месторождений, широко развитых в ОЧВП.

В 1990-х гг. КВП привлёк особое внимание благодаря открытию крупного эпитермального Au–Ag месторождения Кубака – одного из богатейших в мире [3]. В результате последовавшего развития геологоразведочных работ в КВП были открыты многочисленные новые Au–Ag эпитермальные месторождения и рудопроявления. Оруденение этих месторождений КВП весьма специфично [2, 18, 20–23]. Большинство из месторождений имеют полихронный (многоэтапный) стиль развития. В оруденении раннего этапа отражаются особенности состава древнего фундамента и чехла Омогонского террейна, лежащих в основании рудовмещающих вулканоструктур. В связи с этим с момента открытия дискутируется возраст Au–Ag эпитермальных месторождений КВП [25].

За прошедшие с ввода в строй Кубакинского ГОКа годы из руд месторождений КВП были добыты более 200 т золота и столько же серебра. В настоящее время основное производство Омогонского хаба ПАО «Полиметалл»¹ сосредоточено на разработке месторождений Биркачан и Бургали, где ведётся добыча золота и серебра. Богатые руды поступают на золотоизвлекательную фабрику рудника «Кубака». Бедные руды перерабатывают на сезонной фабрике кучного выщелачивания

¹ <https://www.polymetal.ru/assets/where-we-operate/omolon-hub/>

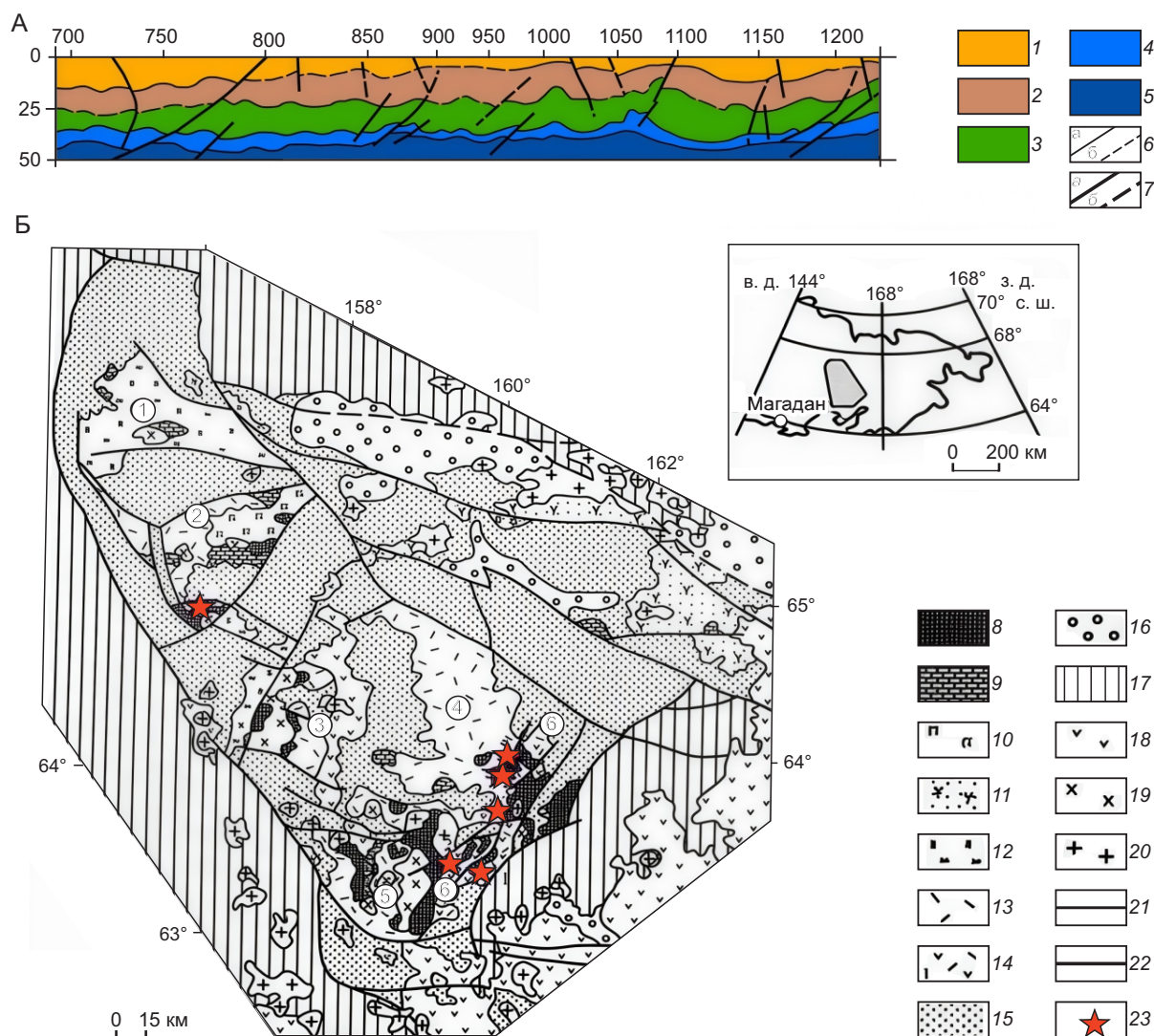


Рис. 1. Глубинный разрез по осреднённой линии опорного сейсмического профиля 2-ДВ через южную часть Омолонского кратонного террейна [12] – А и размещение изученных месторождений и рудопроявлений в пределах Кедонского вулканического пояса (КВП) на Омолонском кратонном террейне, тектоническая схема – Б. По [5, 6, 13], дополненная:

1–4 – слои земной коры: 1 – осадочно-вулканогенный, 2 – гранитно-метаморфический, 3 – гранулит-базитовый, 4 – слой коромантийной смеси; 5 – верхняя мантия Земли; 6 – границы слоёв: а – достоверные, б – предполагаемые; 7 – разломы, выделенные: а – уверенно и б – предположительно; 8 – выступы дорифейского фундамента; 9–16 – чехол: 9–10 – нижний структурный ярус: 9 – осадочные отложения (рифей–ордовик), 10 – вулканогенно-осадочные образования (кембрий, визуальнинская и сезамская свиты), 11–14 – средний структурный ярус (девон): 11 – Намындыкано-Моланджинская структурно-фациальная зона, вулканогенно-осадочные образования, 12–14 – Юкагирская структурно-фациальная зона, субаэральные вулканогенные образования (кедонская серия): 12 – трахиандезибазальты-трахириолиты, 13 – преимущественно лавы, игнимбриты, туфы риолитов, трахириолитов, дацитов, 14 – лавы, игнимбриты, туфы риолитов, трахириолитов, андезиты, трахиандезиты, 15–16 – верхний структурный ярус: 15 – осадочные отложения (нижний карбон–средняя юра), 16 – осадочные и вулканогенные образования (верхняя юра–нижний мел); 17 – структуры складчатого обрамления массива; 18 – меловые вулканогенные образования Охотско-Чукотского вулканогенного пояса; 19–20 – интрузивные комплексы: 19 – палеозойские, 20 – раннемеловые; 21 – геологические границы; 22 – разломы; 23 – изученные эпитепральные Au-Ag месторождения и рудопроявления; цифры в кружках: 1–5 – вулканические ареалы КВП: 1 – Токур-Юряхский, 2 – Рассошинский, 3 – Абкитский, 4 – Кедонский, 5 – Ольдянинско-Коаргычанский; 6 – Анмандыканская вулканическая зона; на врезке: положение ОКТ на карте Северо-Востока России

рудника «Биркачан». Ежегодно из руд месторождений КВП компания производит около 6 т золота и 12 т серебра.

Настоящая статья подготовлена на основании доклада, сделанного на XIV Международной научно-практической конференции «Геология, прогноз, поиски и оценка месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» 15 апреля 2025 г. в ФГБУ «ЦНИГРИ» (г. Москва).

Цель статьи – показать влияние металлогении ранних эпох развития ОКТ на минералогию и геохимию среднепалеозойских Au-Ag эпитеpmальных месторождений КВП (см. рис. 1, Б). В связи с этим далее рассмотрим примеры привноса ряда металлов, ремобилизованных из древнего фундамента и чехла ОКТ и переотложенных в эти руды.

Минералы и примесь железа в рудах среднепалеозойских эпитеpmальных Au-Ag месторождений. Формирование залежей железистых кварцитов происходило в среднем рифее (PR₂), на что указывает Rb-Sr изотопия (1150 ± 78 млн лет) [6]. Железное оруденение максимально развито в Южно-Омолонском рудном районе. Галька железистых руд присутствует в конгломератах средне-рифейской нючалинской свиты. Образованию железистых кварцитов предшествовали динамометаморфизм кристаллического фундамента и внедрение тел и даек габбродолеритов раннерифейского стрелкинского комплекса. Формирование железистых руд связывается с процессами предпозднерифейской деструкции кристаллического фундамента и базитовым магматизмом.

С одной стороны, железные руды обнаруживают приуроченность к участкам развития наиболее гранитизированных пород, а с другой, к зонам проявления предпозднерифейских деструктивных процессов. Это можно объяснить тем, что высвобождавшееся при гранитизации (при дебазификации) железо в основном опускалось книзу, оседая на нижней границе фронта гранитизации и мобилизовалось при последующей активизации раннепротерозойских гранитогнейсовых куполов [9].

Для месторождений более молодых эпох Fe-специализация отражается в широком развитии гематитизации метасоматитов и присутствии гематита в рудах эпитеpmальных Au-Ag месторождений, локализованных в вулканитах (D₂₋₃) КВП (рис. 2). Значительные примеси Fe (до 8,5 мас.%) отмечаются в сульфиде серебра – акантите – на месторождениях Кубака и Ольча (табл. 1), а также

в появлении группы серебряных колчеданов ряда Ag-Fe-S (рис. 3) и железистого тёмно-красного адуляра (Fe – 11,2 мас.%) на месторождении Ольча (см. рис. 2, Г).

Метагабброиды стрелкинского комплекса, а также архейские метаморфические породы предполагаются в качестве источников золотого оруденения на месторождении Прогнозное (D₂₋₃) в Хивачском выступе фундамента. Золото из докембрийских толщ с железистыми кварцитами (PR₂) и из метабазитов (PR_{st}) в условиях мелководья выносилось и отлагалось в девонских осадках, в последующем перераспределялось и обогащалось под влиянием более поздних магматических и гидротермальных процессов [19]. Окатанная галька гематит-магнетитового состава составляет до 50 % в туфогравелитах (D₂₋₃) КВП, вмещающих это месторождение, а тонкое самородное золото отлагается на катаклазированной гальке гематита (см. рис. 2, А, Б).

Изотопы свинца в рудах среднепалеозойских эпитеpmальных Au-Ag месторождений. Для ряда относительно молодых рудных объектов (D₂₋₃–K₂) Омолонского кратона (Седой, Жаркое, Хивач, Бургачан, Прав. Визуальное и др.) изучены изотопы рудного Pb в галените (PbS) [30], показавшие, что он содержит примитивный, обеднённый свинец (²⁰⁶Pb) с модельным возрастом 700–1557 млн лет (табл. 2). Эти данные указывают на то, что Pb древнего происхождения, заимствованный из пород фундамента ОКТ, в ходе палеозойского и мезозойского магматизма и рудообразования был регенерирован, обогащён ураногенным свинцом и вошёл в состав галенита более молодых среднепалеозойских эпитеpmальных Au-Ag месторождений.

Минералы и примеси меди в рудах среднепалеозойских эпитеpmальных Au-Ag месторождений. Повышенные концентрации Cu характерны для протерозойских умеренно щелочных габбродолеритов стрелкинского комплекса (PR_{st}), преобразованных региональным метаморфизмом до метабазитов, а также для раннепалеозойских гранитоидов Абкитского плутона (PZ₁) и силурийского Анмандыканского плутона щелочных сиенитов, где отмечается Cu-Mo минерализация.

Металлоносность силурийских плутонов связана, вероятно, и с тем, что они структурно и генетически связаны с дорифейскими гранитогнейсовыми куполами [9, 28]. В водотоках, дренирующих протерозойские метабазиты стрелкинского

комплекса (PRst), присутствуют медистое золото с каймами аурикуприта (AuCu_3) (рис. 4) и самородная медь. С метасоматически изменёнными кристаллическими породами фундамента и метабазитами стрелкинского комплекса в виде субмикроскопических выделений связано высоко-

пробное (980–800 ‰) медистое золото, содержание меди в золоте 5–15 % [27].

В среднепалеозойских Au-Ag месторождениях КВП Олча и Биркачан установлены медистый акантит (Cu более 1 мас.%) (см. табл. 1); также в рудах этих месторождений отмечается развитие

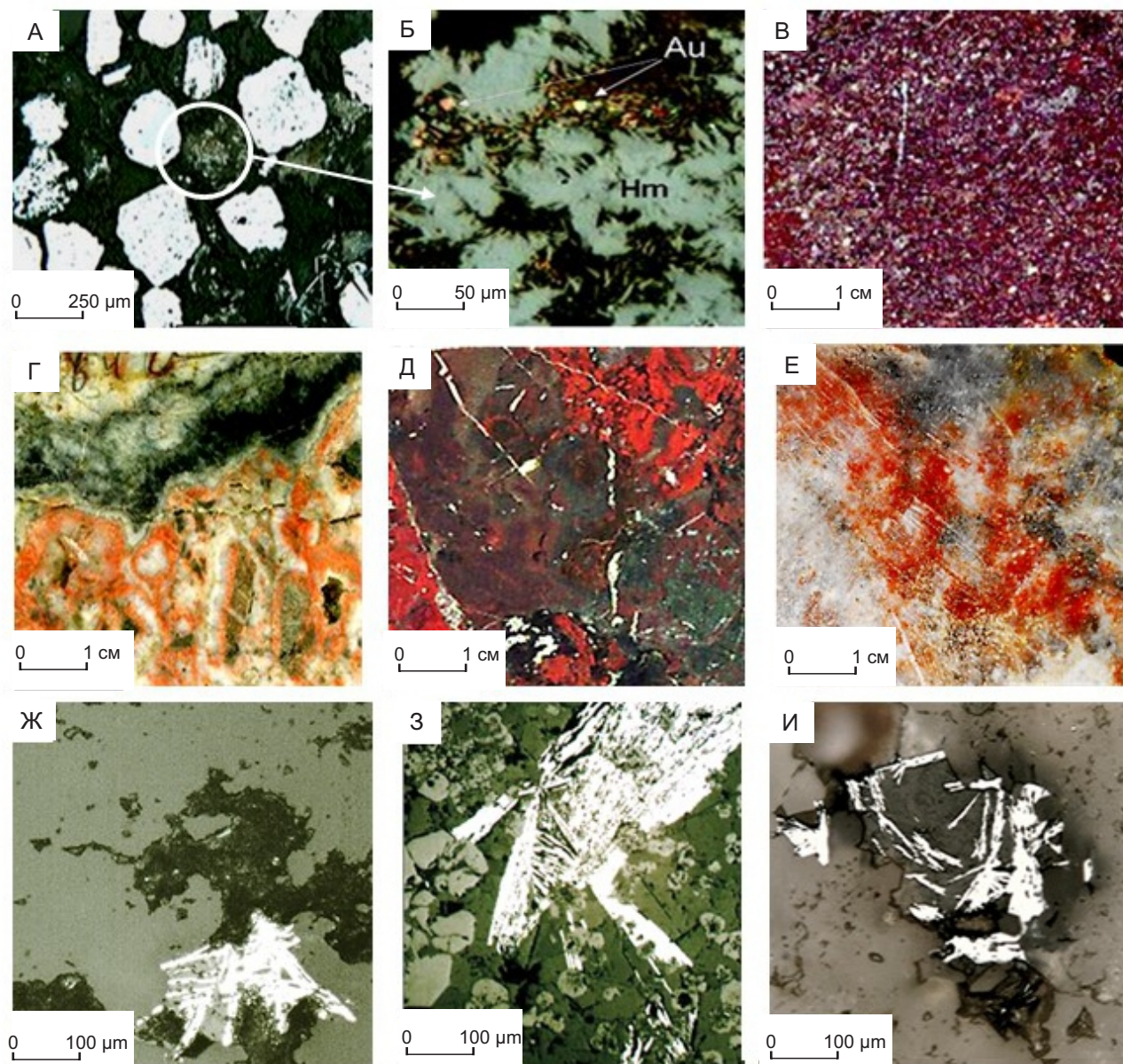


Рис. 2. Присутствие гематита в рудах и метасоматитах среднепалеозойских (D_{2-3}) месторождений:

А–В – месторождение Прогнозное: А – окатанная галька гематита в туфах, Б – высвобождение мелкого золота при разрушении гематита, В – гематитизация туфа; Г – месторождение Олча – железистый адуляр (Fe до 11,2 мас.%) ; Д–Е – гематитизация метасоматитов на месторождениях: Д – Юный, Е – Бургали; Ж–И – гематит в рудах месторождений: Ж – Биркачан, З – Юный, И – Кубака

Табл. 1. Состав акантита (Ag_2S) в рудах среднепалеозойских эпитермальных Au-Ag месторождений ОКТ. По данным рентгеноспектрального анализа, мас.%, [18]

Месторождение	Концентрация элемента						Формульные коэффициенты				
	Ag	S	Cu	Fe	Se	Сумма	Ag	S	Cu	Fe	Se
Кубака	79,80	12,75		8,10		99,25	1,73	0,93		0,34	0
	80,51	13,04		5,12		98,87	1,80	0,98		0,22	0
	76,00	15,50		2,50	1,6	96,36	1,69	1,16		0,11	0,05
	83,10	11,73			4,89	99,70	1,93	0,92			0,16
	83,67	12,70			2,12	98,52	1,94	0,99			0,07
	83,30	12,60			1,23	98,11	1,96	1			0,04
Биркачан	75,63	14,68	6,14	3,54		100,00	1,59	1,04	0,22	0,14	
	72,57	15,68	9,38	2,38		100,00	1,49	1,09	0,33	0,09	
Ольча	81,02	9,13	2,27	0,26	6,10	98,78	1,95	0,74	0,09	0,01	0,20
	84,00	11,31	2,10	0,22	3,20	100,70	1,93	0,88	0,08	0,01	0,10

Примечание. «САМЕВАХ», аналитик Е. М. Горячева (аналитический центр СВКНИИ ДВО РАН).

минералов ряда Ag-Cu-S (ялпаит, маккинстриит, штомеерит и медистое самородное серебро (Cu до 3,3 мас.%) (рис. 5, А), а на месторождении Биркачан широко развит ялпаит Ag_3CuS_2 в сростании с рудными минералами (см. рис. 5, Б).

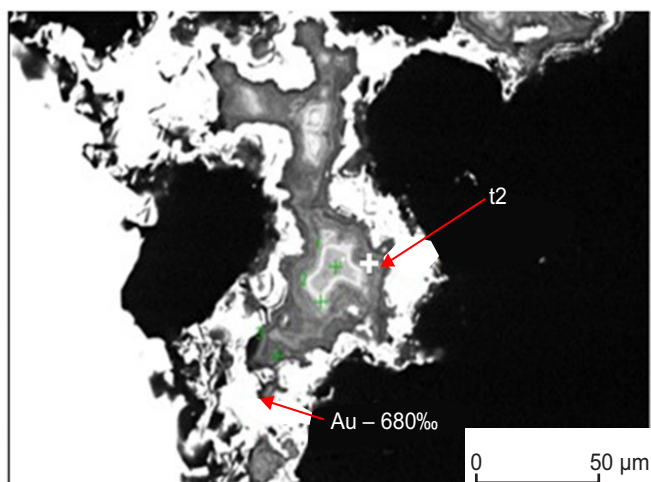


Рис. 3. Выделение фазы Ag-Fe-S (тёмно-серое) в самородном золоте среднедевонского месторождения Кубака ($\text{Ag} - 38,2$, $\text{Fe} - 31,0$, $\text{S} - 28,8$ мас.%):

изображение в отражённых электронах (САМЕВАХ, оператор Е. М. Горячева, аналитический Центр СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан)

Золото в рудах среднепалеозойских эпитермальных Au-Ag месторождений. Для ОКТ характерно усложнение рудноформационного ряда золотого оруденения во времени от золото кварцевого дорифейского $\rightarrow$ золото-редкометалльного раннепалеозойского $\rightarrow$ до серебряно-золотого и золото-серебряного среднепалеозойского, а на конечном этапе (поздний мезозой) $\rightarrow$ до золото-серебряного и серебро-полиметаллического с золотом [7, 10, 11].

Определённый тренд прослеживается в изменении пробности золота во времени (рис. 6). Происходит отчётливая смена преимущественно высокопробного медистого и палладистого золота дорифейского и раннепалеозойского этапов золотом средней пробы (до относительно низкопробного) среднепалеозойской эпохи рудообразования и далее оно сменяется отчётливо низкопробным золотом позднемезозойского этапа. Россыпное золото среди архейских метаморфических образований – высокопробное, с постоянными элементами-примесями в нём Cu и Fe .

PGE в рудах среднепалеозойских эпитермальных Au-Ag месторождений. В пределах рифейского (RF) выступа фундамента на Рассошинском поднятии в микроклин-кварцевых жилах содержание $\text{Au} - 0,05 - 0,8$ г/т (В. М. Шевченко, 1972 г., рук.). Кроме того, в Рассошинском районе в россыпях встречено также высокопробное палладистое золото, характерное для рифейских рудо-

Табл. 2. Изотопный состав и значения модельных параметров Pb для месторождений и рудопроявлений Омолонского кратонного террейна

Объект (возраст оруденения)	Минеральный тип руд (вмещающие)	Изотопные отношения Pb					$\frac{Th}{U}$	T*, млн лет
		206/204	207/204	208/204	207/206	208/206		
Бургагчан (D ₂₋₃ -K ₂)	Ag-Pb-Zn (дациты, K ₂)	17,183 ± 12	15,454 ± 6	38,041 ± 15	0,898 ± 3	2,209 ± 3	4,53	810
Седое (D ₂₋₃ -K ₂)	Ag-Pb-Zn (риолиты, D ₂₋₃)	17,447 ± 12	15,539 ± 14	38,498 ± 36	0,890 ± 2	2,207 ± 17	4,62	767
Жаркое (D ₂₋₃ -K ₂)	Ag-Pb-Zn (риолиты, D ₂₋₃)	17,236 ± 17	15,578 ± 13	38,620 ± 80	0,9021 ± 6	2,2376 ± 15	4,91	994
Хивач (D ₂₋₃ -K ₂)	Ag-Pb-Zn (риолиты, K ₂)	17,339 ± 12	15,464 ± 12	37,969 ± 43	0,8918 ± 3	2,1898 ± 15	4,35	707
Пр. Визуальное (D ₃ -C ₁)	Ag-Pb-Zn (песчаники, PR ₂)	15,913 ± 20	15,321 ± 19	36,163 ± 57	0,9626 ± 2	2,2723 ± 11	4,31	1577
Упрямое (D ₂₋₃)	Ag-Pb-Zn (риолиты, D ₂₋₃)	16,949 ± 16	15,403 ± 12	36,919 ± 40	0,9089 ± 3	2,1728 ± 20	3,95	895

Примечание. T* – модельный возраст.

литов Приполярного Урала [26], верхнего докембрия западной окраины Сибирской платформы [15], Енисейского кряжа [16] и древних метаморфических пород других регионов мира [31].

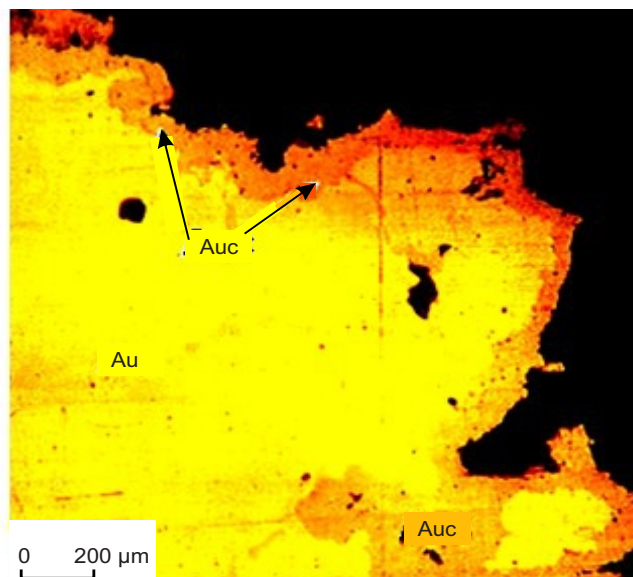


Рис. 4. Медистое золото с каймой аурикуприта из россыпи в водотоке, дренирующей протерозойские метабазиты стрелкинского комплекса (PRst), руч. Кровный [22]

На месторождении Бургали, локализованном в среднепалеозойских вулканитах (D₂₋₃), в двух малых технологических пробах, кроме Au (4,67 и 16,8 г/т) и Ag (106,9 и 57,6 г/т), определено содержание (в г/т): Pt – 0,03, Pd – 0,35, Ru – до 0,003, Ro – 0,004–0,008, Ir – 0,02–0,05 (ICP MS), предполагается их привнос из основания вулканической постройки

Заключение. В заключение отметим, что привнос металлов Fe, Pb, Cu, Au и PGE из древних образований фундамента КВП служил дополнительным источником вещества при формировании Au-Ag среднепалеозойских эпитеpmальных руд. Гематит и высокие примеси железа установлены в рудах и метасоматитах среднепалеозойских месторождений Кубака, Ольча, Биркачан и др. Отмечено, что Pb древнего происхождения, заимствованный из пород фундамента КВП, в ходе палеозойской и мезозойской тектономагматической активизации и рудообразования был ремобилизован, обогащён ураногенным свинцом и вошёл в состав галенита более молодых Au-Ag эпитеpmальных месторождений (Седой, Жаркое, Хивач и др.).

В рудах среднепалеозойских Au-Ag эпитеpmальных месторождений КВП (Ольча и Биркачан) установлены медистый акантит, а также минералы ряда Ag-Cu-S (ялпаит, маккинстриит, штомерит и медистое самородное серебро).

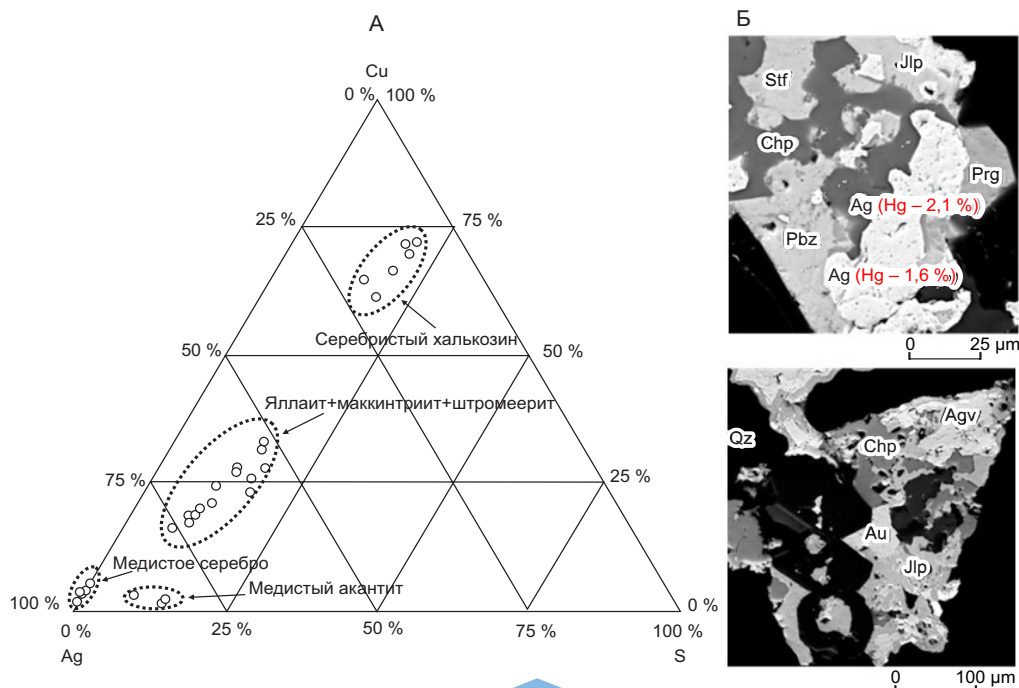


Рис. 5. Cu в рудах среднепалеозойских (D_{2-3}) месторождений:

А – Ольча, тройная диаграмма Ag-Cu-S; Б – Биркачан, яллаит (Ag_3CuS_2) в сростании с рудными минералами, снимок в рассеянных электронах (JSM-5610LV, Япония; СЭМ, аналитическая лаборатория ИГЕМ РАН, аналитик Л. А. Левицкая)

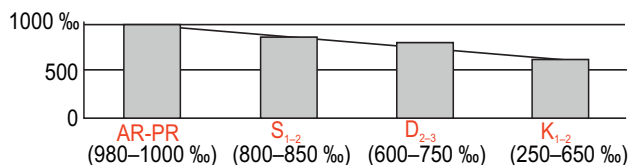


Рис. 6. Тренд снижения пробности самородного золота на ОКТ во времени (по средневзвешенному значению)

В двух малых технологических пробах из среднепалеозойских Au-Ag руд определено содержание PGE, которые, вероятно, были привне-

сены из древнего основания вулканической постройки, вмещающей месторождение Бургали.

Установлено последовательное снижение пробности самородного золота в рудах месторождений разного возраста – от архея до раннего мезозоя включительно.

Приведённая в статье информация имеет большое практическое значение для региональных прогнозно-металлогенических построений, поисков и оценки месторождений золота.

Работа выполнена при финансовой поддержке тем Госзадания СВКНИИ ДВО РАН и ИГЕМ РАН (№ госрегистрации 124022400144-6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абисалов Э. Г., Кузнецов В. М. Особенности структуры геохимического поля Колымо-Омолонского региона // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий. Т. 2. Металлогения. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2001. – С. 223–224.
2. Волков А. В., Савва Н. Е., Ишков Б. И., Сидоров А. А., Колова Е. Е., Мурашов К. Ю. Палеозойское Au-Ag эпите rmальное месторождение Бургали (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. – 2021. – Т. 63, № 1. – С. 40–61.
3. Волков А. В., Сидоров А. А., Савва Н. Е., Прокофьев В. Ю., Колова Е. Е., Мурашов К. Ю., Земскова М. И. Особенности эпите rmального рудообразования в Кедонском палеозойском вулканоплутоническом массиве // Геология рудных месторождений. – 2021. – Т. 63, № 1. – С. 62–71.

- ническом поясе Северо-Востока России по данным геохимических исследований Au-Ag оруденения // Вулканология и сейсмология. – 2016. – № 6. – С. 3–21.
4. Волков А. В., Сидоров В. А., Савва Н. Е. [и др.] Металлогения золота и серебра Кедонского (D_{2-3}) вулканоплутонического пояса (Северо-Восток России) // ДАН. – 2011. – Т. 439, № 5. – С. 633–640.
5. Гагиева А. М. Среднепалеозойский вулканизм Омолонского массива (Северо-Восток Азии): особенности химического состава и проблемы геодинамической интерпретации // Вестник ОНЗ РАН. – 2014. – Т. 6. – С. 1–12.
6. Гагиева А. М. Эндеогенные события в позднедокембрийской и палеозойской истории Омолонского массива: сопоставление геологических и геохронометрических данных : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учёного степен. канд. геол.-минерал. наук / Гагиева Айна Муссаевна. – Магадан : СВКНИИ, 2013. – 28 с.
7. Дылевский Е. Ф., Кузнецов В. М., Палымский Б. Ф. [и др.] Золотая минерализация в истории развития Восточного Приколымья // Тезисы докладов VI съезда РМО. – Л. : Наука, 1981. – С. 75–76.
8. Егоров В. Н., Шерстобитов П. А. Кедонская вулканоплутоническая ассоциация юго-восточной части Омолонского массива // Магматизм и метаморфизм Северо-Востока Азии. Материалы IV регионального петрографического совещания по Северо-Востоку России. – Магадан : Книжное изд-во, 2000. – С. 23–29.
9. Жуланова И. Л. Земная кора Северо-Востока Азии в докембрии и фанерозое. – М. : Наука, 1990. – 304 с.
10. Кузнецов В. М., Палымская З. А., Шашурина И. Т. Металлогеническое районирование и рудоносность Колымо-Омолонского региона : Материалы регион. конференции по геологии Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России. – Томск : КИПР по Томской области, 2000. – Т. 2. – С. 45–46.
11. Кузнецов В. М., Палымская З. А., Шашурина И. Т. [и др.] Металлогеническая карта Колымо-Омолонского региона масштаба 1 : 500 000. Объяснительная записка. – Магадан : Магадангеология, 2001. – 207 с.
12. Кузнецов В. Л., Сальников А. С., Старосельцев В. С., Сурков В. С., Липилин А. В., Еманов А. Ф., Соловьев В. М. Строение земной коры в сечении опорного профиля 2-ДВ по данным ГСЗ // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2010. – Вып. 2. – С. 21–30.
13. Мерзляков В. М., Терехов М. И., Лычагин П. П., Дылевский Е. Ф. Тектоника Омолонского массива // Геотектоника. – 1982. – № 1. – С. 74–84.
14. Пальянова Г. А., Савва Н. Е. Особенности генезиса сульфидов золота и серебра месторождения Юный (Магаданская область) // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50, № 7. – С. 759–777.
15. Петров В. Г. Золото в опорных разрезах верхнего докембрия западной окраины Сибирской платформы верхнего докембрия западной окраины Сибирской платформы. – Новосибирск : Наука, 1976. – 213 с.
16. Рудашевский Н. С., Горбунов А. А., Антонов А. В., Аликин О. В., Рудашевский В. Н., Боброва О. В. Палладистое золото (Au, Pd) в золото-сурьмяных рудах Удережского месторождения, Енисейский край // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2019. – № 16. – С. 492–496. – DOI: <https://doi.org/10.31241/FNS.2019.16.100>
17. Рундквист Д. В. Эпохи реювенации докембрийской коры и их металлогеническое значение // Геология рудных месторождений. – 1993. – Т. 35, № 6. – С. 467–480.
18. Савва Н. Е. Минералогия серебра Северо-Востока России. – М. : Изд-во Триумф, 2018. – 544 с.
19. Савва Н. Е., Волков А. В., Ишков Б. И., Сидоров А. А. Модель формирования золото-гематит-баритовой минерализации Прогнозного месторождения (Северо-Восток России) // ДАН. – 2014. – Т. 456, № 4. – С. 461–466.
20. Савва Н. Е., Волков А. В., Сидоров А. А. Особенности рудообразования на эпитегрмальном Au-Ag месторождении Кубака (Северо-Восток России) // ДАН. – 2007. – Т. 417, № 1. – С. 79–83.
21. Савва Н. Е., Ворцелнев В. В. Особенности формирования Вулканогенных месторождений на срединных массивах // Генезис рудных формаций и практическое значение рудно-формационного анализа на Северо-Востоке СССР. – Магадан : СВКНИИ ДВО АН СССР, 1990. – С. 50–64.
22. Савва Н. Е., Прейс В. К. Атлас самородного золота Северо-Востока СССР. – М. : Наука, 1990. – 292 с.
23. Савва Н. Е., Шахтыров В. Г. Золото-серебряное месторождение Ольча: тектоническая позиция, структура, вещественная характеристика // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53, № 5. – С. 460–484.
24. Сидоров А. А., Волков А. В. О металлогении кратонных террейнов Северо-Востока России // Геология и геофизика. – 2006. – № 12. – С. 1242–1257.
25. Сидоров А. А., Савва Н. Е., Ишков Б. И., Волков А. В., Степанов В. А., Шишкова Л. Н. Возраст эпитегрмального золотосеребряного оруденения на месторождении Кубака (Омолонский кратонный террейн, Северо-Восток России): геологические и изотопно-геохронологические (U-Pb, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) ограничения // Тихоокеанская геология. – 2021. – Т. 40, № 2. – С. 90–97. – DOI: 10.30911/0207-4028-2021-40-2-90-97
26. Тарбаев М. Б., Кузнецов С. К., Моралев Г. В. Новый золотопалладиевый тип минерализации в Кожимском районе Приполярного Урала (Россия) //

- Геология рудных месторождений. – 1996. – Т. 38, № 1. – С. 15–30.
27. Фомина М. И. Золото-кварцевая формация Омолонского массива (на примере рудных полей Джугаджак и Нодди) : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минералогия» : автореф. дис. на соискание учёного степен. канд. геол.-минерал. наук / Фомина Марина Ивановна. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2013. – 22 с.
 28. Шевченко В. М. Архей и протерозой Омолонского массива // Петрология и изотопный возраст. – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2006. – 176 с.
 29. Шпикерман В. И. Домеловая минералогия Северо-Востока Азии. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1998. – 333 с.
 30. Шпикерман В. И., Чернышев И. В., Агапова А. А., Троцкий В. А. Геология изотопов рудного свинца центральных районов Северо-Востока России. Препринт. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1993. – 36 с.
 31. Cabral A. R., Lehmann B., Kwitko-Ribeiro R., Jones R. D., Rocha Filho O. G. On the association of palladiumbearing gold, hematite and gypsum in ouro preto nugget // The Canadian Mineralogist. – 2003. – V. 41. – P. 473–478.

REFERENCES

1. Abisalov E. G., Kuznetsov V. M. Osobennosti struktury geokhimicheskogo polya Kolymo-Omolonskogo regiona [Features of the structure of the geochemical field of the Kolyma-Omolon region], Problemy geologii i metallogenii Severo-Vostoka Azii na rubezhe tysyacheletiy. V. 2. Metallogeniya, Magadan, SVKNII DVO RAN publ., 2001, pp. 223–224. (In Russ.)
2. Volkov A. V., Savva N. Ye., Ishkov B. I., Sidorov A. A., Kolova Ye. Ye., Murashov K. Yu. Paleozoyskoye Au-Ag epitermalnoye mestorozhdeniye Burgali (Severo-Vostok Rossii) [Paleozoic Au-Ag epithermal deposit Burgali (North-East of Russia)], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 2021, V. 63, № 1, pp. 40–61 (In Russ.).
3. Volkov A. V., Sidorov A. A., Savva N. E., Prokofiev V. Yu., Kolova E. E., Murashov K. Yu., Zemskova M. I. Osobennosti epitermalnogo rudoobrazovaniya v Kedonskom paleozoyskom vulkanoplutonicheskom poyase Severo-Vostoka Rossii po dannym geokhimicheskikh issledovaniy Au-Ag orudneniya [Features of epithermal ore formation in the Kedon Paleozoic volcano-plutonic belt of North-East Russia based on geochemical studies of Au-Ag mineralization], Vulkanologiya i seismologiya, 2016, No. 6, pp. 3–21. (In Russ.)
4. Volkov A. V., Sidorov A. A., Savva N. E. [et al.] Metallogeniya zolota i srebra Kedonskogo (D_{2-3}) vulkanoplutonicheskogo poyasa (Severo-Vostok Rossii) [Metallogeny of gold and silver of the Kedon (D_{2-3}) volcano-plutonic belt (North-East of Russia)], DAN, 2011, V. 439, No. 5, pp. 633–640. (In Russ.)
5. Gagiyeva A. M. Srednepaleozoyskiy vulkanizm Omolonskogo massiva (Severo-Vostok Azii): osobennosti khimicheskogo sostava i problemy geodinamicheskoy interpretatsii [Middle Paleozoic volcanism of the Omolon massif (Northeast Asia): features of chemical composition and problems of geodynamic interpretation], Vestnik ONZ RAN, 2014, V. 6, pp. 1–12. (In Russ.)
6. Gagiyeva A. M. Endogennyye sobytiya v pozdnedokembriyskoy i paleozoyskoy istorii Omolonskogo massiva: sopostavleniye geologicheskikh i geokhronometricheskikh dannyykh [Endogenous events in the late Precambrian and Paleozoic history of the Omolon massif: comparison of geological and geochronometric data], Magadan, SVKNII publ., 2013, 28 p. (In Russ.)
7. Dylevskiy Ye. F., Kuznetsov V. M., Palymskiy B. F. [et al.] Zolotaya mineralizatsiya v istorii razvitiya Vostochnogo Prikolymya [Gold mineralization in the history of the development of the Eastern Kolyma region], Tezisy dokladov VI syezda RMO, Leningrad, Nauka publ., 1981, pp. 75–76. (In Russ.)
8. Yegorov V. N., Sherstobitov P. A. Kedonskaya vulkanoplutonicheskaya assotsiatsiya yugo-vostochnoy chasti Omolonskogo massiva [Kedon volcano-plutonic association of the south-eastern part of the Omolon massif], Magmatizm i metamorfizm Severo-Vostoka Azii. Materialy IV regionalnogo petrograficheskogo soveshchaniya po Severo-Vostoku Rossii, Magadan, Knizhnoye izd-vo publ., 2000, pp. 23–29. (In Russ.)
9. Zhulanova I. L. Zemnaya kora Severo-Vostoka Azii v dokembrii i fanerozoze [The Earth's crust of North-East Asia in the Precambrian and Phanerozoic], Moscow, Nauka publ., 1990, 304 p. (In Russ.)
10. Kuznetsov V. M., Palymskaya Z. A., Shashurina I. T. Metallogenicheskoye rayonirovaniye i rudonosnost Kolymo-Omolonskogo regiona [Metallogenic zoning and ore-bearing capacity of the Kolyma-Omolon region], Materialy region. konferentsii po geologii Sibiri, Dalnego Vostoka i Severo-Vostoka Rossii, Tomsk, KPR po Tomskoy oblasti, 2000, V. 2, pp. 45–46. (In Russ.)
11. Kuznetsov V. M., Palymskaya Z. A., Shashurina I. T. [et al.] Metallogenicheskaya karta Kolymo-Omolonskogo regiona masshtaba 1, 500 000. Obyasnitelnaya zapiska [Metallogenic map of the Kolyma-Omolon region at a scale of 1,500,000. Explanatory note], Magadan, Magadangeologiya publ., 2001, 207 p. (In Russ.)

12. Kuznetsov V. L., Salnikov A. S., Staroseltsev V. S., Surkov V. S., Lipilin A. V., Yemanov A. F., Solovyev V. M. Stroyeniye zemnoy kory v sechenii opornogo profilya 2-DV po dannym GSZ [Structure of the Earths Crust in the Section of the 2-DV Reference Profile Based on DSS Data], *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri*, 2010, Is. 2, pp. 21–30. (In Russ.)
13. Merzlyakov V. M., Terekhov M. I., Lychagin P. P., Dylevskiy Ye. F. Tektonika Omolonskogo massiva [Tectonics of the Omolon Massif], *Geotektonika*, 1982, No. 1, pp. 74–84. (In Russ.)
14. Palyanova G. A., Savva N. Ye. Osobennosti genezisa sulfidov zolota i serebra mestorozhdeniya Yunyy (Magadanskaya oblast) [Features of the genesis of gold and silver sulfides of the Yuny deposit (Magadan region)], *Geologiya i geofizika*, 2009, V. 50, No. 7, pp. 759–777. (In Russ.)
15. Petrov V. G. Zoloto v opornyykh razrezakh verkhnego dokembriya zapadnoy okrainy Sibirskoy platformy verkhnego dokembriya zapadnoy okrainy Sibirskoy platformy [Gold in the reference sections of the Upper Precambrian of the western margin of the Siberian platform Upper Precambrian of the western margin of the Siberian platform], *Novosibirsk, Nauka publ.*, 1976, 213 p. (In Russ.)
16. Rudashevskiy N. S., Gorbunov A. A., Antonov A. V., Alikin O. V., Rudashevskiy V. N., Bobrova O. V. Palladistoye zoloto (Au, Pd) v zoloto-surmyanykh rudakh Udereyskogo mestorozhdeniya, Yeniseyskiy kryazh [Palladium gold (Au, Pd) in gold-antimony ores of the Uderei deposit, Yenisei ridge], *Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GIKNTS RAN*, 2019, No. 16, pp. 492–496, DOI: <https://doi.org/10.31241/FNS.2019.16.100> (In Russ.)
17. Rundkvist D. V. Epokhi reyuvatsii dokembriyskoy kory i ikh metallogenicheskoye znachenie [In Rejuvenation epochs of the Precambrian crust and their metallogenic significance], *Geologiya rudnykh mesto-rozhdeniy*. 1993, V. 35, No. 6, pp. 467–480. (In Russ.)
18. Savva N. Ye. Mineralogiya serebra Severo-Vostoka Rossii [Mineralogy of silver in the North-East of Russia], Moscow, Triumf publ., 2018, 544 p. (In Russ.)
19. Savva N. Ye., Volkov A. V., Ishkov B. I., Sidorov A. A. Model formirovaniya zoloto-gematit-baritovoy mineralizatsii Prognoznogo mestorozhdeniya (Severo-Vostok Rossii) [Model of formation of gold-hematite-barite mineralization of the Prognostic deposit (North-East of Russia)], *DAN*, 2014, V. 456, No. 4, pp. 461–466. (In Russ.)
20. Savva N. Ye., Volkov A. V., Sidorov A. A. Osobennosti rudobrazovaniya na epitermalnom Au-Ag mestorozhdenii Kubaka (Severo-Vostok Rossii) [Features of ore formation at the Kubaka epithermal Au-Ag deposit (North-East of Russia)], *DAN*, 2007, V. 417, No. 1, pp. 79–83. (In Russ.)
21. Savva N. Ye., Vortsepnev V. V. Osobennosti formirovaniya Vulkanogennykh mestorozhdeniy na sredinnykh massivakh [Features of the formation of volcano-genic deposits on median massifs], *Genezis rudnykh formatsiy i prakticheskoye znachenie rudno-formatsionnogo analiza na Severo-Vostoke SSSR*, Magadan, SVKNII DVO AN SSSR publ., 1990, pp. 50–64. (In Russ.)
22. Savva N. Ye., Preys V. K. Atlas samorodnogo zolota Severo-Vostoka SSSR [Atlas of native gold of the North-East of the USSR], Moscow, Nauka publ., 1990, 292 p. (In Russ.)
23. Savva N. Ye., Shakhtyrov V. G. Zoloto-serebryanoye mestorozhdeniye Olcha: tektonicheskaya pozitsiya, struktura, veshchestvennaya kharakteristika [Gold-silver deposit Olcha: tectonic position, structure, material characteristics], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2011, V. 53, No. 5, pp. 460–484. (In Russ.)
24. Sidorov A. A., Volkov A. V. O metallogenii kratonnykh terreyinov Severo-Vostoka Rossii [On the metallogeny of cratonic terranes of North-East Russia], *Geologiya i geofizika*, 2006, No. 12, pp. 1242–1257. (In Russ.)
25. Sidorov A. A., Savva N. Ye., Ishkov B. I., Volkov A. V., Stepanov V. A., Shishakova L. N. Vozrast epitermalnogo zolotoserebryanogo orudeneniya na mestorozhdenii Kubaka (Omolonskiy kratonnyy terreyin, Severo-Vostok Rossii): geologicheskiye i izotopno-geokhronologicheskiye (U-Pb, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) ograniicheniya [Age of epithermal gold-silver mineralization at the Kubaka deposit (Omolon cratonic terrane, North-Eastern Russia): geological and isotope-geochronological (U-Pb, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) constraints], *Tikhookeanskaya geologiya*, 2021, V. 40, No. 2, pp. 90–97, DOI: [10.30911/0207-4028-2021-40-2-90-97](https://doi.org/10.30911/0207-4028-2021-40-2-90-97) (In Russ.)
26. Tarbayev M. B., Kuznetsov S. K., Moralev G. V. Novyy zolotopalladiyevyy tip mineralizatsii v Kozhimskom rayone Pripolyarnogo Urala (Rossiya) [New goldpalladium type of mineralization in the Kozhimsky region of the Subpolar Urals (Russia)], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 1996, V. 38, No. 1, pp. 15–30. (In Russ.)
27. Fomina M. I. Zoloto-kvartsevaya formatsiya Omolonskogo massiva (na primere rudnykh poley Dzhugadzhak i Noddi), [Gold-quartz formation of the Omolon massif (on the example of the ore fields Dzhugadzhak and Noddi)], Magadan, SVKNII DVO RAN publ., 2013, 22 p. (In Russ.)
28. Shevchenko V. M. Arkhey i proterozoy Omolonskogo massiva, Petrologiya i izotopnyy vozrast [Archean and Proterozoic of the Omolon Massif, Petrology and isotopic age], Magadan, SVNTS DVO RAN publ., 2006, 176 p. (In Russ.)
29. Shpikerman V. I. Domelovaya minerageniya Severo-Vostoka Azii [Pre-Cretaceous minerageny of North-East Asia], Magadan, SVKNII DVO RAN publ., 1998, 333 p. (In Russ.)

30. *Shpikerman V. I., Chernyshev I. V., Agapova A. A., Troitskiy V. A.* Geologiya izotopov rudnogo svintsa tsentralnykh rayonov Severo-Vostoka Rossii [Geology of isotopes of ore lead in the central regions of the North-East of Russia. Preprint] Preprint, Magadan, SVKNII DVO RAN publ., 1993, 36 p. (In Russ.)
31. *Cabral A. R., Lehmann B., Kwitko-Ribeiro R., Jones R. D., Rocha Filho O. G.* On the association of palladium-bearing gold, hematite and gypsum in ouro preto nugget, The Canadian Mineralogist, 2003, V. 41, pp. 473–478.

Статья поступила в редакцию 30.05.25; одобрена после рецензирования 20.06.25; принята к публикации 20.06.25.
The article was submitted 30.05.25; approved after reviewing 20.06.25; accepted for publication 20.06.25.

По всем вопросам, связанными со статьями, следует обращаться в редакцию
по тел. +7 (495)315-43-65 доб. 227
E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1