

Металлогеническая эволюция перикратонных террейнов Северо-Востока Азии: возраст оруденения, источники флюида и металлов

Глухов А.Н. 

ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, Магадан, gluhov76@list.ru

Аннотация. Охарактеризован вещественный состав, изотопно-геохимические особенности и возраст разнотипной минерализации двух перикратонных террейнов Северо-Востока Азии: Омолонского и Приколымского. Показано, что эволюция рудогенеза подобных структур может развиваться по двум сценариям. При хорошей сохранности их консолидированного фундамента источники флюида и металлов располагаются на нижнекоровых уровнях. В контраст, при высокой степени дислоцированности кристаллического субстрата рудные формации наследуют состав вмещающих комплексов, а рудообразующие источники располагаются в верхней коре.

Ключевые слова: перикратонный террейн, металлогения, источники вещества, изотопные данные, фундамент.

Evolution of Metallogeny of Pericratonic Terranes of the North-East of the Asia: Age, Fluid and Metals Sources

Glukhov A.N. 

North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Magadan, gluhov76@list.ru

Abstract. Described mineralogy, geochemistry, isotope specify and age of ore mineralization of the two pericratonic terranes North-East of the Asia: Omolon cratonic and Prikolyma miogeoclinal. Showed two style of development of metallogeny of the such structures. First, when crystalline basement is good preserved and fluids & metals derived from lower crust. On contraire, if basement is strong dislocated, the ore sources is located on the high crustal levels, and mineralization inherited composition of host rocks.

Keywords: pericratonic terrane, metallogeny, fluids & metals sources, isotope data, basement.

Введение

Террейны – фрагменты кратонов и их окраин широко распространены в орогенных поясах. Они характеризуются присутствием в своем составе вещественных комплексов различного возраста и высокой насыщенностью минерализацией. Установление связей между особенностями тектонического развития этих структур и параметрами рудных объектов представляется актуальной научной задачей, решение которой будет способствовать лучшему пониманию механизмов перераспределения вещества литосферы при изменениях геодинамических обстановок.

Под перикратонным террейном мы, вслед за Л.М. Парфеновым с соавторами (1993) подразумеваем фрагмент кратона или его пассивной окраины, который был отчленен и вновь аккрецирован. Рассмотрим Омолонский кратонный (ОМ) и Приколымский миогеоклинальный (ПК) террейны (рис. 1). Согласно имеющимся геодинамическим реконструкциям, в докембрийское время оба они отчленились от Северо-Азиатского кратона, входят в структуру позднеюрско-раннемеловых орогенных поясов Северо-Востока Азии: ПК – Яно-Колымского (Геодинамика..., 2006), ОМ – Охотско-Корякского (Горячев и др., 2017) и имеют длительную историю геологического развития: наиболее древние U-Pb датировки комплексов первого составляют 2.4 млрд лет (Щербакова и др., 1988), второго – 3.4 млрд лет (Бибикина и др., 1978). Данная публикация основана на фактическом материале и аналитических данных, ранее опубликованных нами в период 2013–2022 гг. С ними можно ознакомиться на ресурсах www.elibrary.ru и www.researchgate.net.



Рис. 1. Тектоническая схема Северо-Востока Азии (по В.В. Акинину, 2012).

1 – AR-PR₁ кратон и кратонные террейны; 2 – PZ миогеоклинальные террейны; 3–4 – турбидиты Верхоянского пояса (3) и Чукотского (4) блока; 5 – MZ вулканоогенные пояса и осадочные бассейны; 6 – Южно-Ануйская сутурная зона; 7 – ОЧВП; 8 – Корьякско-Камчатская складчато-надвиговая зона. Рамкой показана исследуемая территория.

Fig. 1. Tectonic scheme of North-East of Asia (from V.V. Akinin, 2012).

1 – AR-PR₁ craton and cratonic terranes; 2 – PZ miogeoclinal terranes; 3–4 – turbidites Verkhoyan belt (3), Chukotka block (4); 5 – MZ volcanic belts and sedimental basins; 6 – South Anuiy suture; 7 – Okhotsk-Chukotka volcanic belt; Koryak-Kamchatka trust-fold zone. Frame show described area.

Геология и металлогения Приколымского террейна

ПК в структурном отношении представляет собой пакет надвиговых пластин (рис. 2). Наиболее древними породами являются AR-PR₁ плагиогнейсы, амфиболиты, перидотиты, вулканыты и гнейсо-граниты с U-Pb и Pb-Pb возрастом 1.70–2.36 млрд лет (Худолей и др., 2006; Щербакова и др., 1988). RF – V комплексы сложены песчаниками, филлитами и карбонатными породами. Широко развит динамотермальный метаморфизм зеленосланцевой фации. Докембрийские образования перекрыты терригенными, вулканоогенно-осадочными и карбонатными породами PZ – MZ, а также вулканытами Уяндино-Ясачненского вулкано-плутонического пояса (УЯВП, J₃ – K₂) и Балыгычано-Сугойского прогиба рифтогенной природы (K₁₋₂). Интрузивные комплексы представлены мелкими телами гранитоидов и дайками базитов (J₃ – K₂). Границы ПК представляют собой крупные региональные надвиги субмеридиональной ориентировки. Состав вещественных комплексов отражает существовавшую здесь пассивную континентальную окраину с циклически проявленным (RF, PZ₁₋₂) рифтогенезом, изредка осложнявшуюся обстановками активной окраины трансформного типа (J₂₋₃) и аккреционно-коллизийными (J₃) событиями.

Вещественные комплексы ПК вмещают разнообразные по составу рудные проявления. Наиболее многочисленны месторождения и рудопроявления *золото-редкометалльной формации*, сопровождающиеся россыпями. Вмещают минерализацию пологие надвиги. Рудные тела представлены пологими линзовидно-пластообразными зонами сульфидно-кварцевого прожилкования (Глухов и др., 2016). Геохимический спектр минерализации Au-(Ag, Pb, Zn, Cu)-(Bi-Te)-(As, Mo). Ar-Ar возраст серицита и калиевого полевого шпата из рудных тел одного из месторождений составил соответственно 162 ± 5 (рис. 1) и 156 ± 2 млн лет (Глухов и др., 2022а).

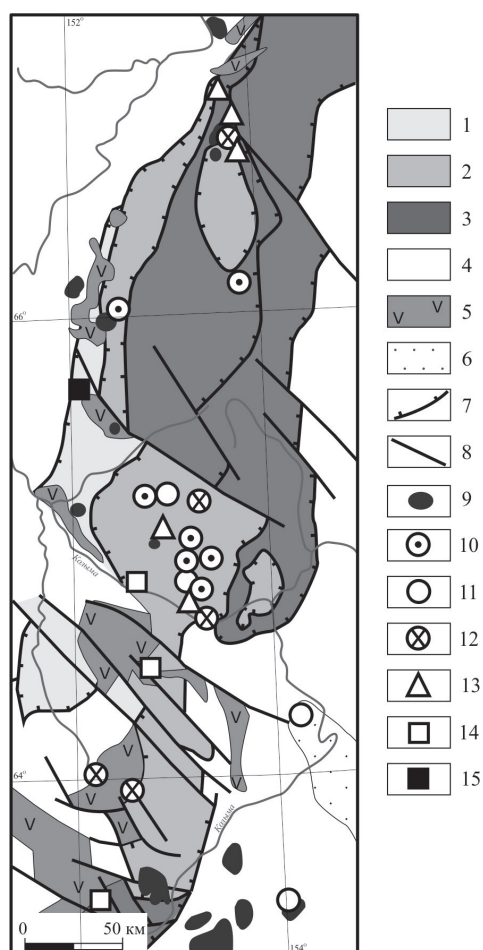


Рис. 2. Тектоно-минерагеническая схема Приколымского террейна и смежных структур.

1–3 – Приколымский террейн, разновозрастные комплексы: 1 – RF–V, 2 – AR–PR2, 3 – PZ; 4 – прочие террейны; 5 – УЯВП; 6 – Балыгычано-Сугойский рифтогенный прогиб; 7 – надвиги; 8 – крутопадающие разломы; 9 – гранитоиды; 10–15 – месторождения и рудопроявления: 10 – Au-редкометалльные, 11 – Au-Ag, 12 – Cu-Mo, 13 – стратиформные Pb-Zn, 14 – Cu-песчаники, 15 – пластовые гематитовые руды.

Fig. 2. Tectonic and mineragenic scheme of Prykolyma terrane.

1–3 – Prykolyma terrane, different age complexes: 1 – RF–V, 2 – AR–PR2, 3 – PZ; 4 – other terranes; 5 – Uyandina-Yasachnaya volcanic belt; 6 – Balygychan-Sugoy rift; 7 – trusts; 8 – faults; 9 – granitoids; 10–16 – deposits: 10 – granitoid-related Au, 11 – epithermal Au-Ag, 12 – Cu-Mo porphyry, 13 – stratiform Pb-Zn, 14 – sediment-hosted Cu, 15 – stratiform Fe.

Au-Ag формация представлена пологими залежами брекчированных и окварцованных рифейских известняков и филлитов с акантитом, агвиларитом, киноварью, электрумом, кюстелитом (Бирюков и др., 2013). Геохимический спектр руд Hg-Ag-Au-W-(As, Mo, Sb).

Си-Мо-порфировая формация ПК связана с магматическими ассоциациями УЯВП (Шпикерман, 1998). Она включает сульфидно-кварцевые штокверки с Au-Cu оруденением в порфировых гранитоидах с U-Pb возрастом (SIMS) 150 ± 1 млн лет (Шпикерман и др., 2019), ассоциирующие с ними скарны, жилы и жильные зоны с Cu-Pb-Zn-Ag минерализацией среди пород осадочно-метаморфической рамы, эпитермальную Au-Ag минерализацию на периферии. Все рудопроявления характеризуются сходным геохимическим спектром руд (Cu-Ag-Pb-(As, Au, Bi, Sb)) и специфическим утяжеленным изотопным составом сульфидной серы: значения $\delta^{34}\text{S}$ составляют $+4.2$ – $+13.0$ ‰.

Проявления *формации стратиформных Pb-Zn месторождений в карбонатных породах* сосредоточены на восточном фланге ПК (Шпикерман, 1998). Рудопроявления представлены пологими залежами окварцованных рифейских доломитов, содержащих послойную вкрапленность сульфидов: пирита, пирротина, галенита, сфалерита, халькопирита, блеклой руды. Геохимический спектр минерализации: Pb-Ag-(Zn, Cd)-Mn-Ba.

Си-песчаники и сланцы широко распространены среди рифейских терригенно-карбонатных пород. Известны три рудопроявления и более двух десятков пунктов минерализации (Шпикерман, 1998). Оруденелые залежи располагаются на двух стратиграфических уровнях вблизи границ красно- и сероцветных пачек (Глухов, Тюкова, 2020). Геохимический спектр меденосных пород: Cu-Ag-Mn-Co.

Объекты *формации стратиформных гематитовых руд* широко развиты на ПК и представлены многочисленными гематитсодержащими прослоями мощностью от первых сантиметров до метров, приуроченными к контактам рифейских сланцев и карбонатных пород. Наиболее крупный и изученный объект такого типа – месторождение Победа (Шпикерман, 1998).

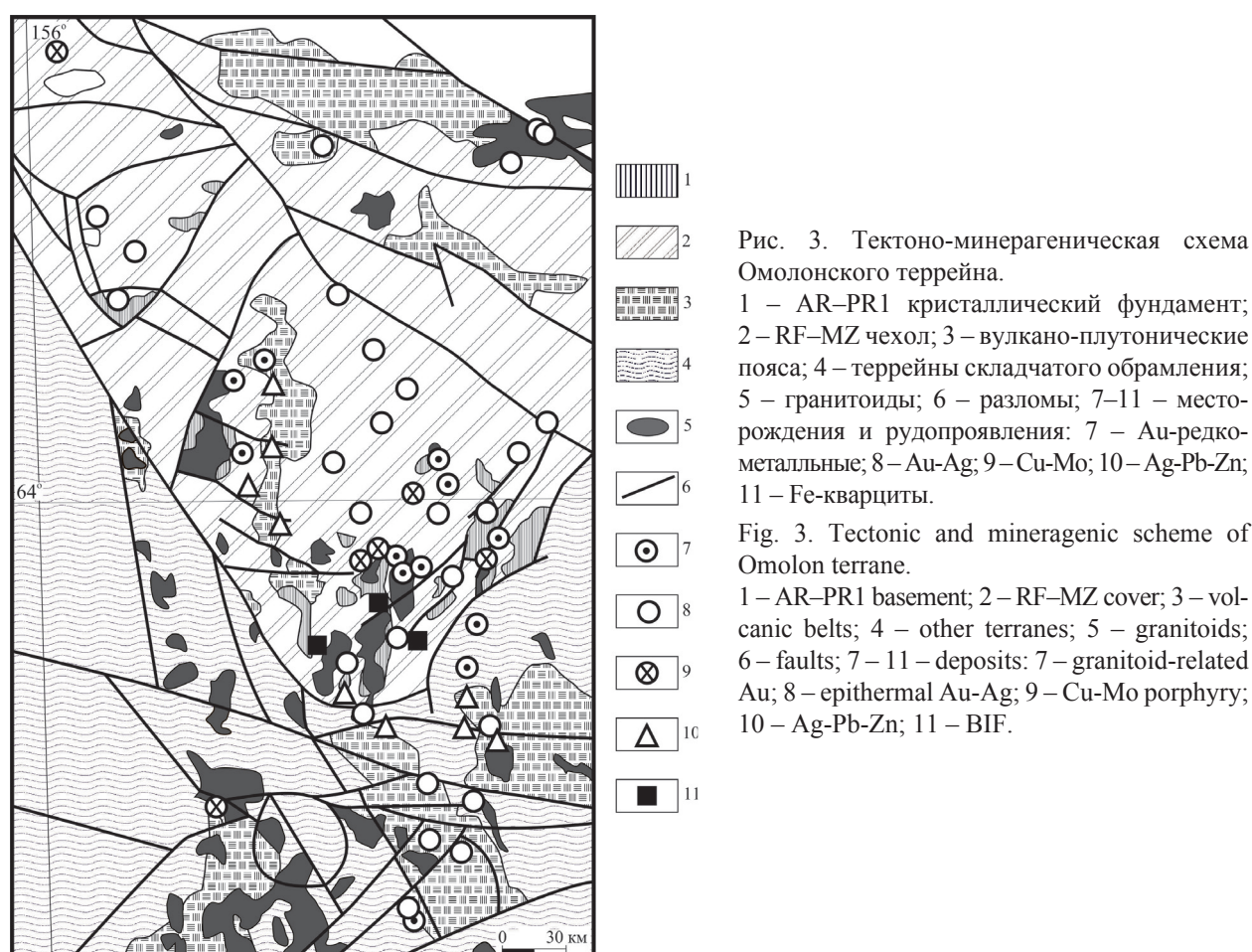
Геология и металлогения Омолонского террейна

В структуре ОМ (рис. 3) выделяются AR–PR₁ кристаллический фундамент, сложенный гнейсами и амфиболитами с U–Pb возрастом 1.9–3.4 млрд лет (Шевченко, 2006) и RF – MZ терригенно-карбонатный чехол. Крошечные образования представлены вулканитами Кедонского (КВП), Олойского (ОВП) и Охотско-Чукотского (ОЧВП) вулканоплутонических поясов. Стратифицированные комплексы прорваны гранитоидными батолитами. Крупные разломы представляют собой, главным образом, взбросы и сдвиги. История геологического развития ОМ характеризуется циклической сменой обстановок пассивной континентальной окраины (RF₃ – S₁, C₂ – T₂), внутриконтинентального рифтогенеза (кембрий, K₁), коллизионных (S₂) и активной окраины (D₂ – C₁, K₁₋₂).

Месторождения и рудопроявления ОМ относятся к нескольким рудным формациям. Наиболее многочисленные и важные в экономическом отношении месторождения *Au–Ag формации* вмещаются вулканитами и интрузивными породами палеозоя. Рудные тела представлены крутопадающими адуляр-карбонат-кварцевыми жилами. Их особенностью является низкая сульфидность, не превышающая 1–2 %. Характерно высокое отношение Au/Ag (2:1 – 1:4). Геохимический спектр Au–Ag–(As, Sb)–(Mo, W). Возраст руд раннекарбонатовый, на что указывают геологические данные и изотопные датировки (Акинин и др., 2020).

Месторождения и рудопроявления позднемезозойской *Au–Ag формации* сконцентрированы на южной окраине ОМ, в пределах Пенжинского сегмента ОЧВП. Они имеют достоверно определенный как геологическими данными, так и изотопными Rb–Sr и Ar–Ar датировками позднемеловой возраст (Лейер и др., 1997; Кравцова и др., 2009; Прийменко и др., 2022). Рудные тела представлены жилами адуляр-кварцевого состава. Их геохимический спектр Ag–Au–(As, Sb)–(Cu, Pb, Zn).

Проявления палеозойской *золото-редкометалльной формации* связаны с гранитоидами, имеющими U–Pb возраст 425–430 млн лет (Горячев и др., 2017). Рудные тела представлены



крутопадающими жилами сульфидно-карбонат-кварцевого состава. Геохимический спектр руд Au-Pb-Ag-(W, Mo)-Bi-Zn-As. Золото-редкометалльная минерализация позднемезозойского возраста ассоциирует с позднемеловыми гранитоидными интрузиями ОЧВП и представлена сульфидно-турмалин-кварцевыми жилами, зонами сульфидизированных турмалин-кварц-мусковитовых грейзенов. Геохимический спектр минерализации Au-As-Pb-Ag-Co-Cu.

Позднепалеозойская *Си-Мо-порфировая формация* ОМ связана с гранитоидами КВП, имеющими U-Pb возраст от 369–375 млн лет (Акинин и др., 2020). Собственно порфировая минерализация представлена зональными ореолами пропилитов и филлизитов, содержащими вкрапленность пирита, халькопирита, молибденита; на удалении 1–2 км от них развиты жилы и прожилки сульфидно-карбонатно-кварцевого состава с пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом, акантитом, сульфосолями серебра, самородным золотом. Геохимический спектр руд Au-Ag-As-(Pb, Zn, Cu)-Bi.

Позднемезозойская *Си-Мо-порфировая формация* ОМ связана с ОЧВП и ОВП. Порфировое оруденение ОЧВП контролируют интрузии гранитоидов, имеющие U-Pb возраст 86–87 млн лет (Глухов и др., 2021). Минерализация представлена сульфидно-кварцевыми штокверками и залежами оруденелых скарнов. Геохимический спектр порфировой минерализации Mo-Pb-Ag-Cu-Zn-As. На периферии Си-Мо штокверки сменяются кварцевыми жилами с Au-Ag-Pb минерализацией. На восточном фланге ОМ оруденение ассоциирует с гранитоидными интрузиями ОВП с U-Pb возрастом 136–143 млн лет (Шатова, Серегин, 2021). Здесь Си-Мо штокверки и скарны по латерали сменяются жилами с Au-Ag-Pb-Zn минерализацией (Кузнецов, 2005).

Рудопроявления *Ag-Pb-Zn формации* приурочены к Конгинской магматической зоне ОЧВП, которая пересекает структуры ОМ пополам (Глухов и др., 2022 б). Они ассоциируют с гранитоидами, имеющими U-Pb возраст 86 млн лет и представлены сульфидно-карбонатными жилами и прожилками и оруденелыми скарнами. Геохимический спектр минерализации Pb-Ag-Zn-As-Bi-W-Sb.

Во всех выступах дорифейского кристаллического фундамента ОМ присутствуют *Fe-кварциты*. Они слагают согласные тела среди архейских плагиогнейсов и амфиболитов. Дорифейский возраст Fe-кварцитов подтверждается присутствием гальки руд в рифейских конгломератах и песчаниках (Горячев и др., 2017). С железистыми кварцитами пространственно ассоциируют жилы пегматитов с *редкоземельной минерализацией*.

Изотопно-геохимические данные

И ПК, и ОМ характеризуются многоэтапной историей геологического развития и рудогенеза. При этом на ПК наблюдается закономерная эволюция минерализации от стратиформной, сравнительно простого состава, монометалльной (Fe, Cu) к жильно-прожилковой, комплексного состава (Cu-Ag-Pb-Zn, Au-Ag, Au-Bi-Te), наследующей геохимическую специализацию вмещающих PR комплексов (Глухов, Бирюков, 2022). Рудные тела золото-редкометалльных месторождений, вмещаемые докембрийскими песчаниками, характеризуются накоплением As и Cu, риолитами – Sb и Mo. Геохимический спектр жильных Cu-Pb-Zn руд и состав геохимических ассоциаций в них зависят от состава вмещающих PR₁: в метабазитах доминируют Ni, Co, Cu, Zn, в метариолитах – Pb, Sb, Mo. В наибольшей степени влияние геохимии вмещающих пород характерно для стратиформной Pb-Zn минерализации, наследующей состав геохимических ассоциаций доломитов.

Оруденение различных формаций ПК характеризуется однородным изотопным составом сульфидной серы (табл.). «Тяжелая» сера Си-Мо-порфировых рудопроявлений необычна для этой формации. Так, Си-Мо месторождения Аризоны (Моренси) и Кавказа (Дастакерт), характеризуются значениями $\delta^{34}\text{S}$ от –0.5 до –2.0 ‰, а Филиппин (Лепанто) (Hedenquist, Garcia, 1990) – $\delta^{34}\text{S}$ от –2.0 до –5.0 ‰, Урала (Грабежев, 1989) от 0 до +2.7. Эту особенность, по нашему мнению, можно объяснить докембрийским возрастом сиалического корового субстрата Приколымья, в отличие от более молодого существенно фемического субстрата большинства других известных Си-Мо провинций. Как известно, изотопный состав $\delta^{34}\text{S}$ в рудах существенно зависит от возраста вмещающих пород (Chang et al., 2008).

Изотопный состав серы рудных минералов отдельных месторождений и рудопроявлений Приколымского и Омолонского террейнов (Горячев и др., 2017; Глухов, Бирюков, 2022)

Sulfur isotope composition some ore deposits Prikolyma and Omolon terranes (Goryachev et al., 2017; Glukhov, Birukov 2022)

Рудная формация	Минерал	$\delta^{34}\text{S}$ VCDT, ‰
ПК		
золото-редкометалльная	пирит	+8.6 – +10.6
стратиформная Pb-Zn	пирит, галенит	+9.6 – +10.4
Cu-Mo-порфировая	пирит	+4.2 – +13.0
ОМ		
Au-Ag (мезозойская)	пирит	+0.3
Cu-Mo-порфировая	пирит	+4.7
	галенит	+1.8
золото-редкометалльная	молибденит	+2.1
	галенит	–11.9 – –14.0

Изотопный состав кислорода кварца Au-редкометалльных руд ПК характеризуется однородностью, значения $\delta^{18}\text{O}$ находятся в узком диапазоне от +12.5 до +15.1 ‰, что характерно для минерализации данного типа на Северо-Востоке Азии (Vikent'eva et al., 2018). В целом, он близок безрудному кварцу из метаморфогенных прожилков и соответствует осадочным породам (Shepard et al., 1971). Приблизительно оцененные теоретические значения величин $\delta^{18}\text{O}$ для водного компонента флюидной фазы, полученные исходя из температур рудообразования (Иконникова и др., 2009), составляют от +3 до +12 ‰. По данным О.В. Викентьевой с соавторами (Vikent'eva et al., 2018), значения $\delta^{18}\text{O}$ кварца из гранитов, аплитов и пегматитов колеблются от +8 до +11 ‰. С учетом этого, изотопный состав кислорода жильного кварца золото-редкометалльной минерализации ПР указывает на преимущественно метаморфогенный источник флюида.

В структуре ОМ признаков эволюции рудогенеза на протяжении его фанерозойской истории не наблюдается, рудные формации трижды повторяются на хронологическом интервале $\text{PZ}_1 - \text{MZ}_2$. Разновозрастная минерализация характеризуется различными геохимическими спектрами, а ее зависимости от состава вмещающих пород не наблюдается. Опубликованные данные об изотопном составе Sr в рудных телах палеозойских Au-Ag месторождений ОМ (Степанов и др., 1998; Котляр, 2000; Наталенко и др., 2002) характеризуются большим диапазоном значений Sr_0 (0.7028–0.7155). Низкие значения Sr_0 установлены в рудах мезозойского Au-Ag месторождения Дальнее ОЧВП (Кравцова и др., 2009). Изотопный состав кварца ($\delta^{18}\text{O} = +2.7 - +9.1$ ‰ SMOW) палеозойского Au-Ag месторождения Биркачан (Горячев и др., 2017) указывает на мантийные источники руд. Соотношения изотопов Sr и O в его рудах подчиняются модели смешения мантийного и корового вещества (Taylor, 1980; James, 1981) и соответствуют как минимум двум различным источникам, для которых соотношения мантийной и коровой компоненты варьировали от 1:1 – 1:5 (близки к базальтам СОХ) до 1:100 и более (как у гнейсов и кристаллических сланцев). Все это вместе может указывать как на гетерогенность источников вещества, так и на различную степень контаминированности рудогенерирующих магм разновозрастных вулcano-плутонических поясов (Покровский, 2000). Данные по изотопии сульфидной серы из руд показывают различия состава минерализации различных формаций и возрастов (табл.). Меловые Cu-Mo-порфировые объекты характеризуются преобладанием «утяжеленного» изотопа, что характерно для субдукционных рудно-магматических систем (Грабежев, 1989). Напротив, PZ Au-редкометалльное оруденение содержит «легкий» изотоп серы, что характерно для Северо-Востока Азии (Тюкова, Ворошин, 2008). Такое разнообразие изотопного состава существенно отличает ОМ от ПК, руды которого содержат исключительно «тяжелую» метеорную серу.

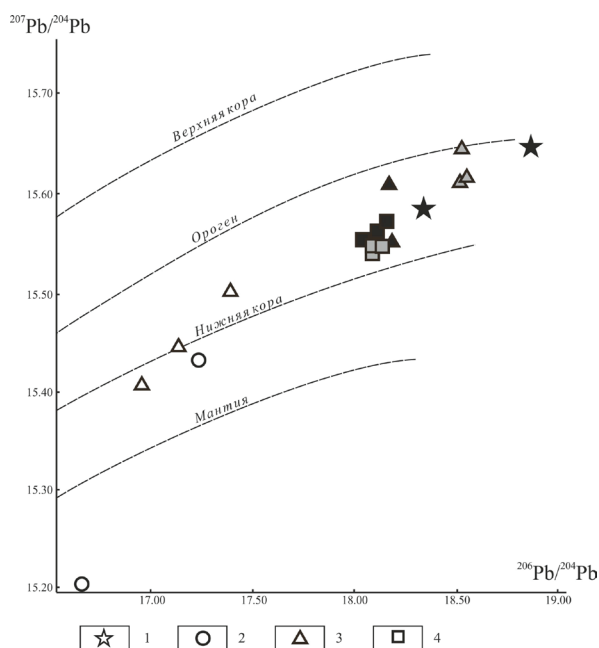


Рис. 4. Изотопный состав свинца сульфидов рудопоявлений и месторождений перикратонных террейнов Северо-Востока Азии (Глухов, Бирюков, 2022). Двухстадийная модель Дж. Стейси и Т. Крамерса (Stacey, Kramers, 1975).

1–4 – рудные формации: 1 – Au-редкометалльная; 2 – Au-Ag; 3 – Cu-Mo; 4 – стратиформная Pb-Zn. Значки, залитые черным цветом – Приколымский террейн, серым – Омuleвский, белым – Омолонский.

Fig. 4. Isotope composition sulfide Pb from deposits of pericratonic terranes of North-East of the Asia (Glukhov, Birukov 2022). Two-stages model (Stacey, Kramers, 1975). 1 – granitoid-related Au; 2 – epithermal Au-Ag; 3 – Cu-Mo porphyry; 4 – Ag-Pb-Zn. Black filled marks – Prykolyma terrane, grey – Omulevka, white – Omolon.

Особенности рудогенеза ОМ и ПК проявлены в отношениях радиогенных изотопов Pb (рис. 4). В рудах ПК от древних стратиформных Pb-Zn к более молодым порфировым рудам наряду со снижением модельного возраста Pb происходило закономерное снижение $Pb^{207/204}$, которое для PZ минерализации соответствует верхней коре, а для MZ – орогену (Шпикерман и др., 1993; Чернышев, Шпикерман, 2001). Аномальные свинцы ПК относятся к экзогенным J-типа (Зайцев, Костин, 1999). То есть с наложением тектономагматических процессов и усложнением геологической структуры вслед за эволюцией корового субстрата изменялись и взаимосвязи рудного вещества, поступившего из разных источников. По изотопным характеристикам рудного Pb ПК хорошо коррелирует с Омuleвским миогеоклинальным террейном (Шпикерман, 1998). Поэтому предложенная для последнего модель формирования стратиформной Pb-Zn Cu-Mo-порфировой минерализации за счет последовательного экстрагирования и перераспределения вещества из докембрийских толщ (Шпикерман и др., 2016) в полной мере применима к ПК. Иная картина наблюдается в рудах ОМ. Здесь различные по составу (Au-Ag и Ag-Pb-Zn) и разновозрастные руды выделяются среди других металлогенических провинций Северо-Востока Азии специфическими изотопными отношениями радиогенного Pb, соответствующими нижней коре и мантии; аномальные свинцы принадлежат к полигенным В-типа (Шпикерман и др., 1993; Чернышев, Шпикерман, 2001). Они указывают, что свинец был напрямую заимствован рудообразующими флюидами из гнейсов и амфиболитов кристаллического фундамента (Шпикерман и др., 1993).

Тектонические аспекты металлогении Омолонского и Приколымского террейнов

ПК представляет собой составную чешуйчато-надвиговую структуру, в пределах которой тектогенез активно происходил на всем протяжении его геологической истории, начиная с AR–PR₁. Главной чертой глубинного строения является тектоническая расслоенность как результат субгоризонтальных смещений масс литосферы, сопровождаемого срывом литопластин (Пущаровский, 1990). ОМ является жесткой, стабильной структурой с консолидированным дорифейским фундаментом, несогласно перекрывающим его осадочным чехлом, блоковым типом деформаций, отсутствием складок и надвигов и тектонической расслоенности в целом.

Консолидированный характер фундамента ОМ обусловил формирование глубинных сквозных крупных разломов-расколов фундамента, по которым происходило поступление флюида и металлов с нижних горизонтов коры. При этом создавались условия для формирования крупных рудоконцентраций, однако сужался спектр их генетических типов. Принципиальное отличие ПК в том, что здесь тектоническая расслоенность способствовала последовательному усилению первич-

ной неоднородности состава литосферы, неоднократной реовенации рудного вещества и формированию обширного спектра рудных формаций, среди которых важную роль играют стратиформные.

Для сопоставления особенностей рудогенеза ОМ и ПК целесообразно использовать классификацию механизмов миграции рудоносных флюидов, разработанную Б.А. Лебедевым и Э.М. Пинским (2000). На ПК относительно слабо развита минерализация тех типов, которые формируются термоконвективными (функционирующими за счет разности температур) системами – Cu-Мо-порфировая и Au-Ag. Причина в том, что термоконвективные системы, в которых силы, вызывающие движение гидротерм, сравнительно малы (Пэк, Сафонов, 1987), наиболее чувствительны к трещинной проницаемости геологической структуры. В контраст, на ОМ оба этих типа оруденения развиты широко и образуют весьма крупные и богатые концентрации. Проявления Au-редкометалльной минерализации, формируемой смешанными конвективно-компрессионными системами, на ПК достаточно многочисленны. Однако надвиговая тектоника резко ограничила их масштаб, особенно если учитывать слабое развитие здесь гранитоидных интрузий. С другой стороны, эта же надвиговая тектоника была исключительно благоприятной для возникновения гидротермальных систем с компрессионной (за счет разности давлений) и гравитационной (разности плотностей флюидов) циркуляцией, в том числе продуцирующих стратиформную минерализацию.

Выводы

Геохимические метки руд, состав стабильных и отношения радиогенных изотопов показывают, что рудные формации ПК наследуют состав вмещающих комплексов, а рудообразующие источники располагались в верхней коре. Напротив, образование минерализации ОМ происходило за счет флюида и металлов, поступивших с нижнекорových уровней. Данные различия обусловлены различной сохранностью, характером и степенью дислоцированности консолидированного кристаллического фундамента данных региональных структур. Это позволяет сделать вывод, что ключевые особенности рудогенеза перикратонных террейнов определяются сохранностью их консолидированного кристаллического фундамента и характером его дислоцированности (чешуйчато-надвиговой или глыбовый).

Литература

1. Акинин В.В., Глухов А.Н., Ползуненков Г.О., Альшевский А.В., Алексеев Д.И. Возраст эпитепирмального золото-серебряного 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. 2020. Т. 39. № 1. С. 37–47. DOI: 10.30911/0207-4028-2020-39-1-37-47.
2. Бибикова Е.В., Макаров В.А., Грачева Т.В., Сеславинский Т.Б. Возраст древнейших пород Омолонского массива // ДАН СССР. 1978. Т. 241. № 2. С. 434–436.
3. Бирюков А.А., Михалицына Т.И., Фомина М.И. Геологическое строение и минералого-петрографическая характеристика рудопоявления Темный // Чтения памяти акад. К.В. Симакова: Материалы докладов Всероссийской научной конференции. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2013. С. 77–79.
4. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1–2. 981 с.
5. Глухов А.Н., Савва Н.Е., Колова Е.Е. Вещественный состав и генезис золотых руд месторождения Надежда, Магаданская область // Руды и металлы. 2016. № 4. С. 60–71.
6. Глухов А.Н., Тюкова Е.Э. Геолого-генетические особенности Ороевского рудопоявления медистых сланцев (Приколымский террейн, Северо-Восток России) // Отечественная геология. 2020. № 1. С. 52–63. DOI: 10.24411/0869-7175-2020-10004.
7. Глухов А.Н., Бирюков А.Н. Геохимическая специализация гидротермального оруденения Приколымского террейна (Северо-Восток России) и ее связь со структурой и составом вмещающих комплексов // Тихоокеанская геология. 2022. Т. 41. № 2. С. 75–88. DOI: 10.30911/0207-4028-2022-41-2-75-88.
8. Глухов А.Н., Бирюков А.А., Акинин В.В., Ползуненков Г.О., Травин А.В. Первые Ag-Ag данные о возрасте золотых руд Приколымского террейна // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России [электронный ресурс]: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 65-летию Института геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН, 23–25 марта 2022 г. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2022 а. С. 176–177.

9. Глухов А.Н., Котов А.Б., Прийменко В.В., Сальникова Е.Б., Иванова А.А., Плоткина Ю.В., Федосеенко А.М. Гранитоиды Конгинской зоны Омолонского массива (Северо-Восток России): состав пород, возраст и геодинамическая обстановка формирования // Геотектоника. 2022. б. № 2. С. 1–14. DOI: 10.31857/S0016853X22020023.
10. Горячев Н.А., Егоров В.Н., Савва Н.Е., Кузнецов В.М., Фомина М.И., Рожков П.Ю. Геология и металлогения фанерозойских комплексов юга Омолонского массива. Владивосток: Дальнаука, 2017. 312 с.
11. Грабежев А.И., Сотников В.И., Чашухина В.А. Изотопный состав серы сульфидов медно-порфировых месторождений Урала // Геохимия. 1989. № 10. С. 1508–1511.
12. Зайцев А.И., Костин А.В. Источники свинца серебряных и серебросодержащих месторождений основных геолого-промышленных типов Северо-Востока России // Серебряное оруденение Якутии (сборник научных статей). Якутск: Изд-во СО РАН, 1999. С. 13–27.
13. Иконникова Т.А., Дубинина Е.О., Сароян М.Р., Чугаев А.В. Изотопный состав кислорода жильного кварца и вмещающих пород на месторождении Сухой Лог (Россия) // Геология рудных месторождений. 2009. Т. 51. № 6. С. 560–567.
14. Котляр И.Н. Возраст золотых руд месторождения Кубака // Магматизм и метаморфизм Северо-Востока Азии. Материалы IV регионального петрографического совещания по Северо-Востоку России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. С. 156–159.
15. Кравцова Р.Г., Дриль С.И., Алмаз Я.А., Татарников С.А., Владимирова Т.А. Первые данные по Rb–Sr возрасту и изотопному составу золото-серебряных руд месторождения Дальнего (Эвенский рудный район, Северо-Восток России) // ДАН. 2009. Т. 428. № 2. С. 240–243.
16. Кузнецов В.М. Геология и рудоносность Бургачанского мегаузла Омолонской металлогенической провинции // Проблемы геологии и металлогении рудных районов Северо-Востока России: сборник научных трудов. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2005. С. 92–109.
17. Лебедев Б.А., Пинский Э.М. Механизмы формирования эпигенетических месторождений и их эволюция в истории Земли // Отечественная геология. 2000. № 2. С. 13–17.
18. Лейер П.У., Иванов В.В., Раткин В.В., Бандтцен Т.К. Эпитермальные золото-серебряные месторождения Северо-Востока России: первые ^{40}Ar – ^{39}Ar -определения возраста руд // ДАН СССР. 1997. Т. 356. № 5. С. 665–658.
19. Наталенко М.В., Стружков С.Ф., Рыжов О.Б., Вакин М.Е., Ишков Б.И., Гиллес Б., Карчавец В.П., Устинов В.И., Шергина Ю.П. Геологическое строение и минералогия месторождения Биркачан // Руды и металлы. 2002. № 6. С. 37–52.
20. Парфенов Л.М., Натапов Л.М., Соколов С.Д., Цуканов Н.В. Террейны и аккреционная тектоника Северо-Востока Азии // Геотектоника. 1993. № 1. С. 66–78.
21. Покровский Б.Г. Коровая контаминация мантийных магм по данным изотопной геохимии. М.: Наука-МАИК Наука/Интерпериодика, 2000. 224 с.
22. Прийменко В.В., Глухов А.Н., Акинин В.В., Фомина М.И., Михалицина Т.И., Пономарчук А.В., Ползуненков Г.О. Золото-серебряное вулканогенно-плутоногенное месторождение Невенреккан (Магаданская область, Россия): вмещающие породы, околорудные метасоматиты, возраст и вещественный состав руд // Вулканология и сейсмология. 2022. № 1. С. 54–72. DOI: 10.31857/S0203030622010059.
23. Пущаровский Ю.М. Введение // Тектоническая расслоенность литосферы и региональные геологические исследования. М.: Наука, 1990. 293 с.
24. Пэк А.А., Сафонов Ю.Г. О причинах и закономерностях движения гидротермальных растворов // Записки ВМО. Ч. CXVI. 1987. Вып. 2. С. 192–204.
25. Степанов В.А., Шергина Ю.П., Шкоробогатова Г.С., Шишакова Л.Н., Рублев А.Г. Возраст руд Кубакинского месторождения золота (Омолонский массив) // Тихоокеанская геология. 1998. Т. 17. № 5. С. 89–97.
26. Тюкова Е.Э., Ворошин С.В. Изотопный состав серы в сульфидах руд и вмещающих пород Верхне-Колымского региона // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27. № 1. С. 27–43.
27. Худoley А.К., Ткаченко В.И., Матуков Д.И., Бережная Н.Г., Сергеев С.А. Новые данные о возрасте докембрийских вулканитов хакдонской серии (Восточное Приколымье) // ДАН. 2006. Т. 411. № 4. С. 505–509.
28. Чернышев И.В., Шпикерман В.И. Изотопный состав рудного свинца как отражение блокового строения центральной части Северо-Востока Азии // ДАН. 2001. Т. 377. № 4. С. 530–533.
29. Шатова Н.В., Серегин С.В. Новые изотопно-геохимические данные для некоторых магматических комплексов южной части Омолонского массива (Магаданская область) // Петрология и геодинамика геологических процессов: Материалы XIII Всероссийского петрографического совещания. Т. 3. Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2021. С. 232–234.

30. Шевченко В.М. Архей и протерозой Омолонского массива. Петрология и изотопный возраст. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2006. 176 с.
31. Шпикерман В.И. Домеловая минерализация Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 333 с.
32. Шпикерман В.И., Чернышев И.В., Агапова А.А., Троицкий В.А. Геология изотопов рудного свинца центральных районов Северо-Востока России. Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1993. 67 с.
33. Шпикерман В.И., Горячев Н.А., Раткин В.В., Чугаев А.В. Геология изотопов рудного свинца юга Омулевского террейна (Циркумалазийский металлогенический пояс) // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит. Материалы III Всероссийской конференции с межд. участием, Владивосток, 20–23 сентября 2016 г. Владивосток: Дальнаука, 2016. С. 386–388.
34. Щербакова И.П., Березнер О.С., Беус В.А., Ткаченко В.И. Дорифейский метаморфический комплекс в Приколымье // Магматические и метаморфические комплексы Северо-Востока СССР и составление Госгеолкарты-50. Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР, 1988. С. 75–76.
35. Chang Z., Ross L.R., Maslennikov V. Sulfur isotopes in sediment-hosted orogenic gold deposits: Evidence for an early timing and a seawater sulfur source // *Geology*. 2008. V. 36. No. 12. P. 971–974. DOI: 10.1130/G25001A.1.
36. Hedenquist J.W., Garcia Jr. Sulfur isotope systematics in the Lepanto mining district, Northern Luzon, Philippines // *Mining Geology*. 1990. V. 40. P. 67.
37. James D.E. The combine use of oxygen and abiogenic isotopes as indicators of crustal contamination // *Annual Rev. Earth Planet Sci.* 1981. V. 9. P. 311–344.
38. Shepard S.M.F., Nielsen R.L., Taylor H.P. Hydrogen and Oxygen Isotope Ratios in Minerals from Porphyry Copper Deposits // *Economic Geology*. 1971. V.66. No. 4. P. 515–542.
39. Stacey J. S., Kramers J. D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // *Earth and planetary science letters*. 1975. V. 26. No. 2. P. 207–221.
40. Taylor H.P. The effect of assimilation of rocks by magmas: $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ systematics in igneous rocks // *Earth and Planct. Sci. Lett.* 1980. V. 47. No. 2. P. 243–254.
41. Vikent'eva O.V., Prokofiev Y.V., Gamyagin G.N., Goryachev N.A., Bortnikov N.S. Intrusion-related gold-bismuth deposits of North-East Russia: PTX parameters and sources of hydrothermal fluids // *Ore Geology Reviews*. 2018. V.102. P. 240–259. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.09.004.