ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2021, том 496, № 2, с. 132–136

РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

УДК 553.411

МЕТАМОРФИЗОВАННОЕ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ В ДОКЕМБРИИ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА: НОВАЯ КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

© 2021 г. А. А. Калинин[1,*], А. В. Волков[2], член-корреспондент РАН К. В. Лобанов[2]

Поступило 12.10.2020 г.
После доработки 09.11.2020 г.
Принято к публикации 11.11.2020 г.

Золото-серебряное месторождение Оленинское располагается в северо-западной части зеленокаменного пояса Колмозеро-Воронья (Кольский полуостров). Оно приурочено к толще амфиболитов, содержащей силлы гранит-порфиров, производных расположенного поблизости крупного массива гранодиорит- и гранит-порфиров, с которым связано Cu–Mo-рудопроявление Пеллапахк. Оленинское месторождение отличают геохимическая ассоциация элементов месторождения As, Pb, Ag, Cu, Sb, Au; отношение золота к серебру менее 0.2; сложный минеральный состав руд (свыше 50 минеральных видов интерметаллических соединений, сульфидов и их аналогов); широкое развитие минералов Ag и Sb; высокая соленость минералообразующих флюидов и аномальные концентрации в них малых элементов. Такие особенности позволили рассматривать Оленинское как часть сформировавшейся в архее порфирово-эпитермальной рудной системы. Впоследствии вмещающие породы и руды месторождения были метаморфизованы на неоархейском и палеопротерозойском этапах регионального метаморфизма в условиях нижней части амфиболитовой фации, на что указывают отсутствие хлорита и слабое развитие карбоната в метасоматических породах, отсутствие пирита при широком развитии пирротина, признаки сульфидного анатексиса в рудах. В северо-восточной части Фенноскандинавского щита такой тип месторождений золота выявлен впервые.

Ключевые слова: Кольский полуостров, пояс Колмозеро-Воронья, золото, серебро, порфировые месторождения, Оленинское месторождение

DOI: 10.31857/S2686739721020079

Золото-серебряные месторождения в докембрийских комплексах – это весьма редкие рудные объекты, ранее на Фенноскандинавском щите известные только на территории Финляндии и Швеции. Полученные нами новые данные по минералогии, геохимии и составу флюидных включений Оленинского Au–Ag-месторождения в зеленокаменном поясе Колмозеро-Воронья позволили по новому подойти к вопросу генезиса и классифицировать его как метаморфизованное месторождение, связанное с порфировыми интрузиями. Минералогические исследования проведены в ГИ КНЦ РАН (Апатиты), с использованием оптического микроскопа Axioplan, сканирующего электронного микроскопа LEO-1450 с энергодисперсионными приставками Röntec и “Bruker” X Flash-5010 и электронно-зондового микроанализатора MS-46 “CAMECA” (аналитик Е.Э. Савченко). ICP–MS-анализ пород на малые элементы выполнен в ИГЕМ РАН (Москва) и в Институте геологии и геохимии УрО РАН (Екатеринбург). Валовый анализ состава флюидов включений выполнен в ЦНИГРИ по методике, описанной в [1] (аналитик Ю.В. Васюта).

Оленинское месторождение приурочено к толще амфиболитов хр. Оленьего, которая содержит силлы гранит-порфиров мощностью от 0.1 до 6 м (рис. 1б). Крупный массив гранит- и гранодиорит-порфиров, вмещающий Cu–Mo-порфировое рудопроявление Пеллапахк, расположен в 2 км к северо-западу (рис. 1а) [2].

[1] *Геологический институт Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия*
[2] *Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Москва, Россия*
**E-mail: kalinin@geoksc.apatity.ru*

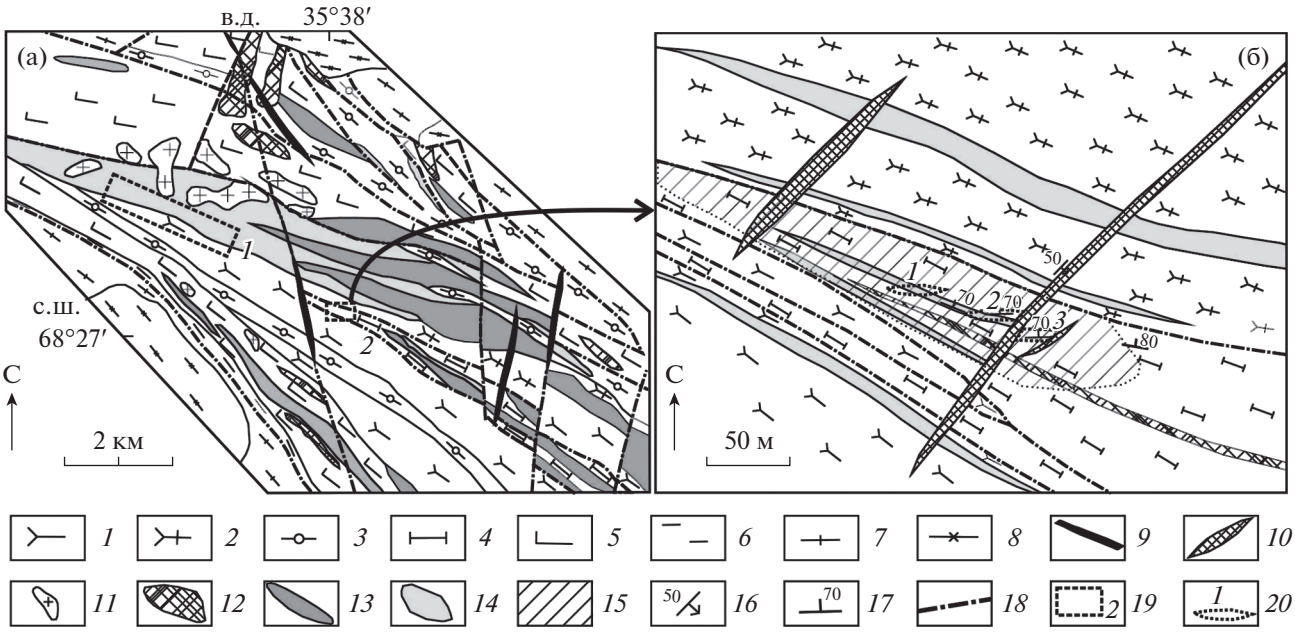

Рис. 1. Схематическая геологическая карта северо-западного фрагмента зеленокаменного пояса Колмозеро-Воронья (а) и схема геологического строения участка месторождения Оленинское (б). *1–6* – породы зеленокаменного пояса: *1* – глиноземистые плагиосланцы, *2* – толща чередования глиноземистых плагиосланцев и амфиболитов, *3* – метавулканиты и туфолавы кислого и среднего состава, лептиты, *4* – амфиболиты хр. Оленьего, *5* – плагиоамфиболиты по метабазальтам, *6* – метаосадочные плагиогнейсы, 7 – гнейсо-плагиограниты Мурманского блока и Кольско-Норвежского домена, *8* – гнейсо-плагиограниты, гнейсогранодиориты, *9* – дайки долеритов, габбро-перидотитов, *10* – пегматитовые жилы, *11* – турмалиновые и плагиомикроклиновые граниты, *12* – метаперидотиты, метапироксениты, *13* – габбро, *14* – комплекс габбродиорит-, диорит- и гранит-порфиров, *15* – зона биотитизации и диопсидизации амфиболитов, *16* – контакт пегматитовой жилы, *17* – сланцеватость, *18* – тектонические нарушения (разломы), *19* – месторождения и рудопроявления: 1 – Пеллапахк, 2 – Оленинское, *20* – участки развития богатой золото-арсенопиритовой минерализации.

Рудная зона Оленинского месторождения представляет собой серию эшелонированных линз, размещение которых контролируется сдвигами северо-западного простирания на площади 900 × 50 м (рис. 1б) [3]. Богатые руды локализованы в экзоконтактовых зонах силлов гранит-порфиров, где породы максимально изменены. Более детально геологическое строение месторождения рассмотрено в [3–5].

Геохимическая ассоциация элементов месторождения включает Au–As–Ag–Sb–Cu–Pb–W (рис. 2). Для сравнения на рисунке приведена ассоциация элементов рудопроявления Пеллапахк, в которую входят Mo–Cu–Bi–Ag–W.

Валовый анализ флюидных включений в продуктивном кварце показал высокую общую соленость флюидов (120–410 г/кг H_2O) с преобладанием хлоридов и сульфатов Ca (21–62 г/кг H_2O) и Na (10–47 г/кг H_2O) и с аномально высоким содержанием As, Sb, Cu, Pb, Zn, Ag (рис. 2).

Геохимические особенности руд хорошо согласуются с их минеральным составом. Широко развиты минералы As, Pb, Ag, Cu, Sb, Au, отмечено свыше 20 минералов Au и Ag [3, 5]. Отношение Au/Ag менее 0.2. Установлена многостадийность минералообразования, в частности, выделено 5 генераций минералов ряда Au–Ag, а состав интерметаллидов варьирует от самородного Ag до высокопробного Au.

Перечисленные выше особенности руд отличают Оленинское от других известных месторождений и рудопроявлений золота в северной части Фенноскандинавского щита, где преобладают объекты орогенического типа [7], что связано с иным генезисом рассматриваемого месторождения.

Известно, что в фанерозойских комплексах порфировые интрузивы, кристаллизующиеся на глубине от 1 до 6 км, являются материнскими для порфирово-эпитермальных рудных систем, реализующихся в малоглубинной и приповерхностной обстановке. Эти системы характеризуются зональностью распределения связанных с ними месторождений, от центра к краю: (Mo, Cu)–(Cu)–(Pb, Zn)–(Au, Ag, As, Sb), которая может проявиться полностью или фрагментарно [8, 9]. Подобные рудные системы могли формироваться и в докембрии, хотя вероятность того, чтобы они

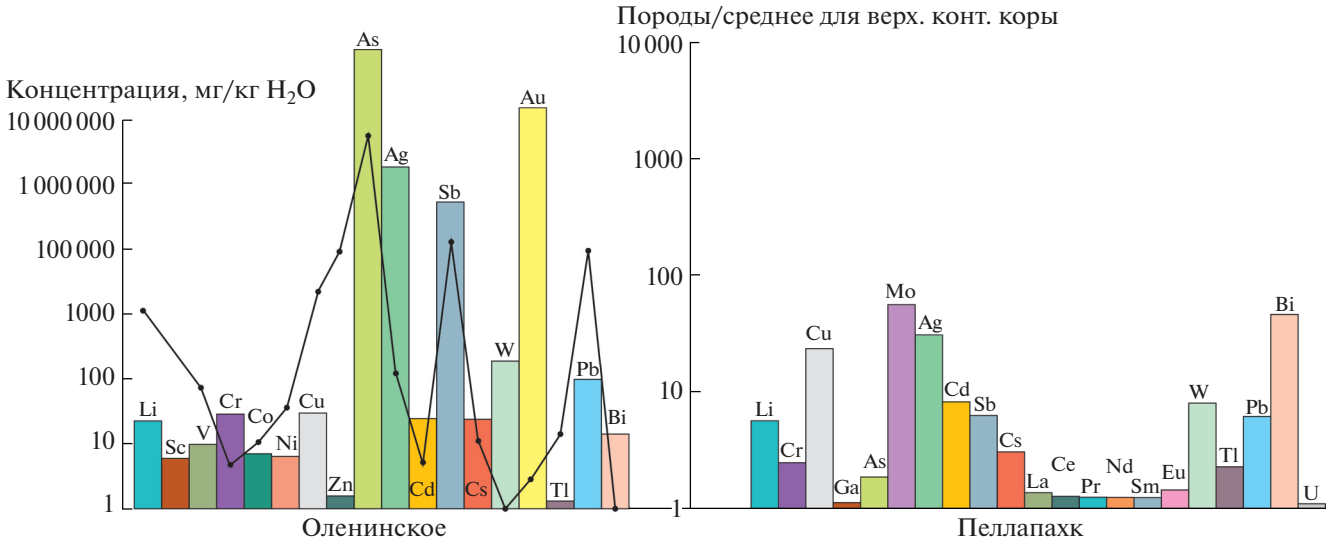

Рис. 2. Распределение основных микроэлементов в рудах Au–Ag-месторождения Оленинское и Cu–Mo-рудопроявления Пеллапахк (столбики гистограммы; содержания нормированы по отношению к средним значениям для верхней коры [6]) и концентрация малых элементов во флюидных включениях в кварце Оленинского (график).

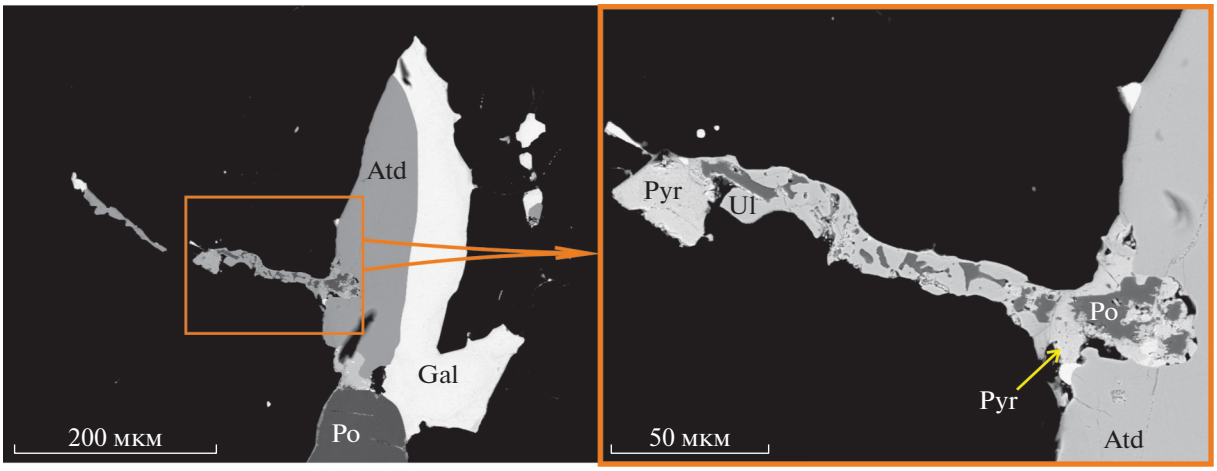

Рис. 3. Продукт кристаллизации сульфидного расплава – срастание пирротина (Po), ульманита (Ul) и пираргирита (Pyr) в краевой части зерна аргентотетраэдрита (Atd) и галенита (Gal). Изображение в обратно-рассеянных электронах. Рамка на рисунке слева показывает участок, в увеличенном виде представленный справа.

сохранились, а не были выведены в дальнейшем на поверхность и эродированы, невелика.

Приведенные выше геохимические и минералогические особенности руд Оленинского месторождения говорят о его генезисе под воздействием магматических флюидов с высоким окислительным потенциалом; флюиды с такими характеристиками мог сгенерировать интрузив гранит-порфиров [10]. Таким образом, мы имеем единую порфировую рудную систему, к центральной "высокотемпературной" зоне которой относится Cu–Mo-рудопроявление Пеллапахк (рис. 1), а к внешней "низкотемпературной" – золото-серебряное месторождение Оленинское, локализованное во вмещающих интрузив толщах.

О правомерности такой типизации Оленинского месторождения говорят пространственная и генетическая связь минерализации золота и серебра с силлами гранит-порфиров, особенности состава флюидов, геохимическая ассоциация

рудных элементов, преобладание Ag над Au в составе руды (отношение Au/Ag меньше 0.2), сложный минеральный состав руд, содержащих большое разнообразие сульфосолей и других соединений Sb и Ag. Не противоречат этому геолого-структурное положение месторождения в сдвиговой зоне, морфология и параметры рудных тел, масштаб месторождения, зональность и интенсивность метасоматического изменения околорудных пород.

Если рассматривать Оленинское как один из объектов порфирово-эпитермальной рудной системы, то возраст первичной минерализации следует принять близким к возрасту гранит-порфиров 2828 ± 8 млн лет [11]. Поскольку породы пояса Колмозеро-Воронья претерпели региональный метаморфизм амфиболитовой фации в неоархее (T = 550–600°C, P = 3–4 кбар) и в палеопротерозое (T около 530°C, P около 5.5 кбар) [12], то руды месторождения должны нести признаки метаморфизма. О наложенном метаморфизме говорят практически полное отсутствие хлорита и слабое развитие карбоната во вмещающих измененных амфиболитах, отсутствие пирита при широком развитии пирротина, появление структур кристаллизации сульфидного расплава соединений легкоплавких металлов Ag, Pb, Sb, Te, Cu (рис. 3) – явление сульфидного анатексиса, описанное нами подробно в [13]. Признаки сульфидного анатексиса отмечены были также в рудах Cu–Mo-рудопроявления Пеллапахк [13].

С метаморфизмом руд Оленинского месторождения, вероятно, связаны приведенные выше особенности состава флюидных включений в кварце – весьма высокая общая соленость и аномально высокие содержания металлов во флюиде, поскольку при метаморфизме в условиях амфиболитовой фации, когда из пород в значительной мере удаляются вода и CO_2, состав флюидных включений должен был переуравновеситься.

Выделение нового для Карело-Кольского региона генетического типа месторождений расширяет перспективы золотоносности северо-восточной части Фенноскандинавского щита и указывает на необходимость разработки дополнительных поисковых критериев при постановке поисково-оценочных работ на благородные металлы в регионе.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена по теме НИР 0226-2019-0053 и при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-70001).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кряжев С.Г., Прокофьев В.Ю., Васюта Ю.В.* Использование метода ICP MS при анализе состава рудообразующих флюидов // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2006. № 4. С. 30–36.

2. *Калинин А.А., Галкин Н.Н.* Докембрийское медно-молибден-порфировое месторождение Пеллапахк (зеленокаменный пояс Колмозеро-Воронья) // Вестник КНЦ РАН. 2012. № 1. С. 80–92.

3. *Калинин А.А.* Золото в метаморфических комплексах северо-восточной части Фенноскандинавского щита. Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2018. 250 с.

4. *Волков А.В., Новиков И.А.* Золото-сульфидное месторождение Оленинское (Кольский п-ов, Россия) // Геология рудных месторождений. 2002. Т. 44. № 5. С. 412–424.

5. *Калинин А.А., Савченко Е.Э., Селиванова Е.А.* Минералы благородных металлов в Оленинском рудопроявлении золота, пояс Колмозеро-Воронья (Кольский полуостров) // Записки РМО. 2017. № 1. С. 43–58.

6. *Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора, ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.

7. *Eilu P., Rasilainen K., Halkoaho T., Huovinen I., Karkkainen N., Kontoniemi O., Lepisto K., Niiranen T., Sorjonen-Ward P.* Quantitative Assessment of Undiscovered Resources in Orogenic Gold Deposits in Finland / Geological Survey of Finland, Report of Investigation 216. 2015. 318 p.

8. *Sillitoe R.H.* Porphyry Copper Systems // Economic Geology. 2010. V. 105. P. 3–41.

9. *Lang J.R., Eastoe C.J.* Relationships between a Porphyry Cu-Mo Deposit, Base and Precious Metal Veins, and Laramide Intrusions, Mineral Park, Arizona // Economic Geology. 1988. V. 83. P. 551–567.

10. *Saunders J.A., Hofstra A.H., Goldfarb R.J., Reed M.H.* Geochemistry of Hydrothermal Gold Deposits / Treatise on Geochemistry, 2nd edition. Elsevier, 2014. P. 383–424.

11. *Кудряшов Н.М., Калинин А.А., Лялина Л.М., Серов П.А., Елизаров Д.В.* Геохронологические и изотопно-геохимические характеристики пород, вмещающих рудопроявления золота архейского зеленокаменного пояса Колмозеро-Воронья (Кольский регион) // Литосфера. 2015. № 6. С. 83–100.

12. *Другова Г.М., Глебовицкий В.А., Дук В.Л., Кицул В.И, Савельева Т.Л., Седова И.С., Семенов А.П.* Высокоградиентные режимы метаморфизма в развитии земной коры. Л.: Наука, 1982. 229 с.

13. *Калинин А.А., Савченко Е.Э.* Структуры кристаллизации сульфидных расплавов как признак метаморфизма руд Оленинского месторождения золота // Вестник МГТУ. 2020. Т. 23. № 1. С. 29–37.

METAMORPHOSED Au–Ag DEPOSIT IN THE PRECAMBRIAN OF THE FENNOSCANDIAN SHIELD: A NEW CONCEPTUAL MODEL

A. A. Kalinin[a,#], A. V. Volkov[b], and Corresponding Member of the RAS K. V. Lobanov[b]

[a] *Geological Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation*

[b] *Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[#] *E-mail: kalinin@geoksc.apatity.ru*

The Oleninskoe gold deposit is located in the north-western part of the Kolmozero-Voron'ya greenstone belt (Kola Peninsula), in a stratum of amphibolite with granite porphyry sills. The sills are genetically connected with a big granodiorite- and granite-porhyry massif, which hosts Cu-Mo porphyry deposit Pellapahk. Geochemical association of the Oleninskoe includes As, Pb, Ag, Cu, Sb, Au, Au/Ag ratio is less than 0.2. The ore is of very complicated mineral composition, the list of defined minerals includes more than 50 mineral names of intermetal alloys, sulfides, and sulfosalts, with widespread Ag and Sb minerals. Fluid inclusions in quartz are of high salinity with anomaly concentration of minor elements. All these characteristics show that the deposit formed in an Early Precambian porphyry-epithermal system. Then the deposit was low amphibolite metamorphosed in Neoarchean and Paleoproterozoic. Metamorphism of the rocks in the deposit is indicated by the absence of chlorite and scarcity of carbonates in metasomatic rocks, substitution of pyrite by pyrrhotite, and signs of sulfide anatexis in the ore. This is the first finding of this genetic type of gold deposit in the northern part of the Fennoscandian Shield.

Keywords: Kola Peninsula, Kolmozero-Voron'ya greenstone belt, gold, silver, porphyry deposit, Oleninskoe deposit