

## Полигенная природа золоторудного месторождения Майское (Северная Карелия): геологические и изотопные свидетельства

В работе рассмотрены свинцово-изотопные данные по галенитам Майского золоторудного месторождения и их значение не только для определения его возраста, но и источников оруденения, имеющих прогнозно-поисковую роль. Рудоносные кварцевые жилы приурочены к системе субмеридиональных разломов в пределах вулканитов палеопротерозойской апаравинской свиты, подвергнутой двухэтапным метасоматическим преобразованиям, выраженных в дорудной региональной пропилитизации и локальном магнезиальном метасоматозе. Со вторым этапом связано расланцевание пород, околорудный гумбеитовый метасоматоз и формирование золото-сульфидно-кварцевого жильного оруденения. По Rb-Sr изохронным данным, возраст пропилитового метасоматоза – 1,70–1,61 млрд лет, а рудоносного гумбеитового метасоматоза около 1,4 млрд лет. С золотом, кроме халькопирита, пирротина и пирита, тесно ассоциирует галенит, который характеризуется примитивным Pb-изотопным составом со средним значением для 9 образцов  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 14,001 \pm 0,013$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 14,832 \pm 0,008$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 33,781 \pm 0,019$ , что соответствует модельному возрасту 2530 млн лет по модели Стейси и Крамерса, а значения  $\mu_2 = 9,67$  и  $K_2 = 3,91$  отвечают мантийно-коровому характеру регионального источника.

Ключевые слова: *палеопротерозой, пропилиты, гумбеиты, вулканиты, изотопия свинца, золотое оруденение, этапность рудообразования.*

S. I. TURCHENKO, B. M. GOROKHOVSKY (IPGG RAS)

## Polygenic nature of the May gold deposit (Northern Karelia): geological and isotope evidences

In the article is considered Pb isotope data for galenites of May gold ore deposit and its importance in age determination also exploration role. Ore bearing quartz veins in deposit belong to system meridian faults layering within mafic vulcanite Palaeoproterozoic apajarvi suite. This suite is subjected to be-stage metasomatic transformations: 1 – regional propilitisation and 2 – local magnesium metasomatic alternation (gumbeitization). With second stage was connected also rock shistousing and forming of gold-sulfide-quartz veins. The age of propilite change mafic volcanites by Rb-Sr isochron determination in interval 1.70–1.61 Ga and ore bearing gumbeit metasomatic rocks near 1.4 Ga. The gold associate with chalcopyrite, pyrrhotite, pyrite and galenite, which is characterized primitive Pb isotope composition: average composition for 9 samples are  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=14.001 \pm 0.013$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=14.832 \pm 0.008$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=33.781 \pm 0.019$ . These signs meet modal age 2530 Ma by model Stasy-Kramers and signs of  $\mu_2 = 9.67$  и  $K_2 = 3.91$  reply mantle-crust character regional sources.

Keywords: *Palaeoproterozoic, propilites, gumbeites volcanites, Pb-isotope, gold mineralization, stages ore forming.*

**Введение.** Попытки определения возраста минерализации в золоторудных месторождениях, залегающих в раннедокембрийских вулканогенных комплексах, часто приводят к неожиданным результатам, выражающимся в существенной разнице между возрастными минерализации и вмещающих пород. Такие исследования для известных золоторудных полей в Западной Австралии (Мурчисон, Норсеман-Вилуна, Камбалда), проведенные свинцово-изотопными методами, показали эпигенетический (постметаморфический и постметасоматический) возраст золотого оруденения и его более древний источник, чем вмещающие оруденение метабазальт-андезитовые породы зеленокаменных поясов [10]. Подобное явление, отмеченное и в других регионах мира, было рассмотрено в обобщающей работе Д. Гровса и др. [13].

В статье приводятся результаты исследования возраста и источника золоторудной минерализации кварцево-жильного месторождения Майское, залегающего в палеопротерозойской Куоляярвинской рифтогенной структуре Северной Карелии. Предлагаемая интерпретация основана на методах Pb изотопии, упомянутых в работах [7, 19].

**Геологическое положение и метаморфо-метасоматические особенности вмещающих пород.** Золоторудное месторождение Майское было открыто в результате работ Центрально-Кольской комплексной геологической экспедиции в Куоляярвинской структуре Алакуртинского района Мурманской области в 1971 г. геологами А. Д. Дайном и В. И. Безруковым [1]. В последующие годы оно изучалось со значительными перерывами геологами ЦНИГРИ,

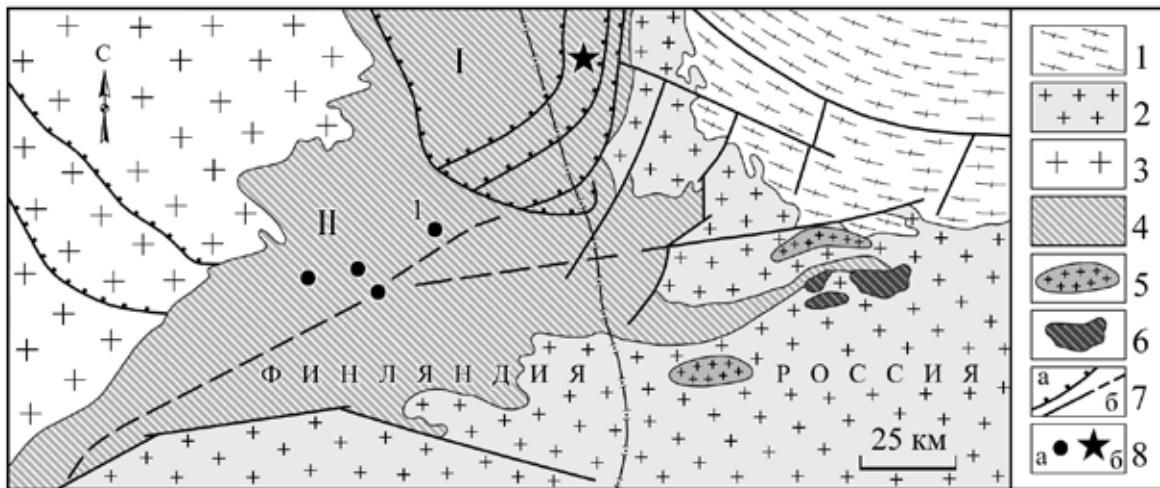


Рис. 1. Геологическая схема Куусамо-Панаярвинской складчато-надвиговой зоны Куоляярвинской рифтогенной структуры (I)

1 – архейские гнейсы Беломорского пояса (2,8–2,6 млрд лет), 2 – неоархейские гранито-гнейсы Карельского блока (2,7–2,6 млрд лет), 3 – палеопротерозойские гранитоиды (2,45–2,3 млрд лет), 4 – вулканогенные породы Куусамо-Куоляярвинской палеорифтовой структуры (2,2–2,0 млрд лет), 5 – граниты типа Нуорунен (2,45 млрд лет), 6 – расслоенные перидотит-габбро-норитовые интрузии (2,45–2,35 млрд лет), 7 – надвиги (а), разломы (б), 8 – месторождения и проявления золота: а – золото-сульфидные проявления структуры Куусамо (II) (1 – наиболее крупное Юмасу), б – золото-кварцевое Майское месторождение

научными сотрудниками ГИ КНЦ РАН [12], ИГЕМ РАН в 1974, 1984, 1998–1999 гг. [4, 7], а также ИГГД РАН и СПбГУ [5].

Золоторудное поле, вмещающее мелкое по запасам кварцево-жильное золоторудное месторождение Майское, ограничено площадью выходов апаярвинской свиты палеопротерозоя в зоне сочленения главной части Куоляярвинской рифтогенной структуры (северо-запад – юго-восток простирается) и её субширотной Куусамо-Панаярвинской складчато-надвиговой зоны [2, 8], расположенной, вероятно, вдоль зоны трансформного разлома. В области сочленения этих структур зона образует флексуобразный изгиб, осложненный системой дугообразных надвигов и субмеридиональных разломов, к которым приурочено золоторудное поле района Майского месторождения (рис. 1). В структуре Куусамо, составляющей западную часть Куусамо-Панаярвинской складчато-надвиговой зоны и расположенной на территории Финляндии, известно около 30 золото-сульфидных рудопроявлений, из которых наибольшее по запасам – проявление Юмасу [16].

Апаярвинская свита относится к людиковийско-ливийскому надгоризонтам (2,2–1,8 млрд лет) палеопротерозоя и сложена метабазальтами, метандезито-базальтами и метатифулами этих пород, составляющих отдельные пачки. Метаморфизм пород соответствует эпидот-амфиболитовой фации с возрастом около 1,9 млрд лет [21]. Породы апаярвинской свиты прорваны дайками габбро-диабазов и габбро-анортозитов, приуроченных к субмеридиональным разломам, вдоль которых развиты рудоносные и безрудные кварцевые жилы. В пределах разломных зон и кварцевых жил вмещающие породы расланцованы и подвергнуты двухэтапным метасоматическим преобразованиям [4, 12]. Причем кварцевые жилы, в том числе и рудоносные, в зонах поперечных (северо-восточные направления) разломов подвержены катаклазу и милонитизации

и содержат ксенолиты метасоматитов, а также гнездовые скопления сульфидов и золота. Двухэтапность метасоматических преобразований выражена в том, что первый этап связан с пропилитизацией (ассоциация альбит-эпидот-актинолит) пород всего рудного поля и формированием локальных магнезиальных метасоматитов (амфибол-биотит-кварц), развитых вдоль зон расланцевания. По данным детального исследования метасоматитов Майского золоторудного поля [4], со вторым этапом связана гумбеитизация (ассоциация кварцадуляр + олигоклаз-кальцит-мусковит-биотит) околожилных пород и сульфидное оруденение с золотой минерализацией. Верхний возрастной предел формирования пропилитов и магнезиальных метасоматитов по **Rb-Sr** изохронным данным соответствует  $1610 \pm 35$  млн лет [4]. Учитывая ранние датировки в работе [7], процесс такого метасоматоза протекал в интервале 1,70–1,61 млрд лет. Гумбеитовому метасоматозу, согласно K-Ar определениям [4], около 1,4 млрд лет, и соответственно возраст золото-сульфидного оруденения может быть таким же. По данным [3], **Rb-Sr** изохронный возраст дорудных пропилитов оценивается в  $1770 \pm 9$ , а более поздних метасоматитов  $1403 \pm 24$  млн лет.

**Характер золотосульфидного оруденения.** Золотосульфидная минерализация представлена в кварцевой жиле 40, которую изучали все исследователи месторождения Майское, остальные кварцевые жилы и прожилки – безрудные или обладают лишь редкой вкрапленностью сульфидов главным образом пирита, но иногда и редких золотин в тонкозернистом кварце ржаво-бурого цвета. Исследования показали, что оруденение было многостадийным. Оруденение ранней стадии представлено тонкозернистым ржаво-бурым кварцем (в жиле 1) с редкой вкрапленностью отдельных золотин, иногда в сочетании с тонкими прерывистыми прожилками сульфидов (пирротин, халькопирит, сфалерит

и галенит), которые наблюдаются как в совместных сростаниях, так и изолированно. Пирротин часто замещен агрегатами пирита и марказита, что придает окружающим скоплениям кварца ржаво-бурю окраску, которая может служить хорошим поисковым признаком ранней минерализации в кварцевых жилах. Кроме этих сульфидов, М. С. Порицким и др. [5] отмечены редкие минералы клаузалит (PbSe) и цумоит (BiTe).

Оруденение поздней стадии, связанное с многоэтапными тектоно-метаморфическими и метасоматическими воздействиями на рифтогенный комплекс Куоляярвинской структуры [4, 8], представлено гнездами и кварцево-рудными жилами в зонах пересечения кварцевых жил (жила 40) с поперечными разломами северо-восточного простирания. Руды сложены перекристаллизованным кварцем молочно-белого цвета в раздувах жилы мощностью до трех метров, где скопления золотин достигают размеров до 2 мм, а халькопирита в сростаниях с золотом до 12 мм. Такие же крупные размеры характерны для зерен галенита в ассоциации со сфалеритом, пирротинном, пиритом и кобальтином.

**Образцы и методы.** Исследована изотопная Pb-Pb система галенитов из золоторудных кварцевых жил (жилы 1 и 40), где галенит присутствует в первой из них в виде вкрапленности, а во второй – зерен размером от 3 до 7 мм, которые были вручную отобраны под бинокулярной лупой из сепарированной тяжелой фракции минералов. Цель исследования – определение возраста золотой минерализации в сингенетичной метасоматитам кварцево-жильной массе, но также и коромантийного источника золото-сульфидного оруденения. Применение Pb-Pb изотопных систем для успешного решения проблем генезиса золото-сульфидных месторождений было разрешено работами До и Стейси, 1974 [11], Зартмена и До, 1981 [22], которые не потеряли своей актуальности и в настоящее время.

**Методика Pb-изотопного анализа.** Свинец из галенитов выделялся по методике Т. Кроу [14]. Уровень лабораторных загрязнений, определяемый опытами, составлял 0,5 нг Pb. Вычисленная на основании анализов стандарта BCR-1 воспроизводимость содержания Pb – 1 %. Изотопный анализ Pb осуществлялся на поликоллекторном масс-спектрометре Finnigan MAT-261 в режиме одновременной регистрации ионных токов разных изотопов. Воспроизводимость изотопного анализа Pb определяется эффектом масс-фракционирования, коэффициент которого  $f = 0,0011 \pm 0,0002$  а.е.м. устанавливался путем многократного измерения изотопного стандарта NBS-SRM-982. Для сведения к минимуму эффекта фракционирования масс изотопный состав Pb галенитов определялся на постоянном, равном используемому при измерениях стандарта NBS-SRM-982, количестве свинца. Это достигалось тем, что свинец из галенитов выделялся на ионообменных колонках с откалиброванной емкостью смолы.

Галениты Майского месторождения характеризуются достаточно узким распределением и примитивным Pb-изотопным составом со средним значением для 9 образцов (таблица)  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 14,001 \pm 0,013$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 14,832 \pm 0,008$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 33,781 \pm 0,019$ . Эти значения соответствуют модельному возрасту 2530 млн лет по модели

### Изотопный состав галенитов из золотоносных кварцевых жил месторождения Майское, Северная Карелия

$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
14,044	14,846	33,828
13,990	14,826	33,770
14,010	14,840	33,813
13,989	14,823	33,767
14,009	14,846	33,831
13,988	14,820	33,761
13,995	14,829	33,772
13,990	14,830	33,781
14,000	14,830	He опр.

Стейси и Крамерса [17], а рассчитанные  $\mu_2 = 9,67$  и  $K_2 = 3,91$  – мантийному или мантийно-коровому характеру регионального источника (рис. 2).

**Обсуждение результатов.** Изотопный состав свинца галенитов месторождения Майское близок по средним значениям  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  к некоторым галенитам из месторождений Финляндии, что подтверждает их ремобилизацию из архейских пород в период Свевокарельской орогении [20]. По значениям  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 14,832$  и  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 14,001$  Майское относится к низкорadioгенной группе [15] месторождений, и возрасты мантийного источника, рудоотложения галенита и соответственно золота значительно различаются. Таким образом, существенное значение имеют мантийный и коровый источники свинца и золота и, конечно, меди в золото-сульфидном оруденении месторождения. Ассоциация рудных минералов с калийсодержащими силикатами в околожильных метасоматитах и связь с ними золоторудной минерализации позволили определить возраст золотого оруденения. Синметасоматическое оруденение имело эпигенетический характер по отношению к формированию ливвийско-людиковийских вулканогенных толщ (2,1–1,9 млрд лет). Этот генетический период многоэтапен по времени прохождения – сначала пропиловый поствулканический метасоматоз возраста 1,85–1,70 млрд лет [4], с которым не была связана кварцево-рудная минерализация. Затем проходила стадия магнезиального метасоматоза, когда образовались кварц-биотит-амфиболовые ассоциации с Rb-Sr возрастом 1,70–1,61 млрд лет. Рудный этап с золотым оруденением являлся более поздним, синхронным с гумбеитовым метасоматозом, с возрастом около 1,4 млрд лет [4]. Этот возрастной этап также отмечался изохронным Rb-Sr определением со значением в  $1403 \pm 24$  млн лет [3]. Эти же авторы определили более поздний девонский ( $397 \pm 15$  млн лет) этап перекристаллизации кварца и сульфидной минерализации на основе полученной ими Re-Os изохронной датировки, которую рассматривали как возраст рудного золота Майского месторождения, а источник золота – как его ремобилизацию из палеопротерозойских пород под воздействием каледонского мантийного плюма. Действительно, каледонская плюмтектоническая активность серьезно проявилась на территории Северной Карелии, где с нею был связан,

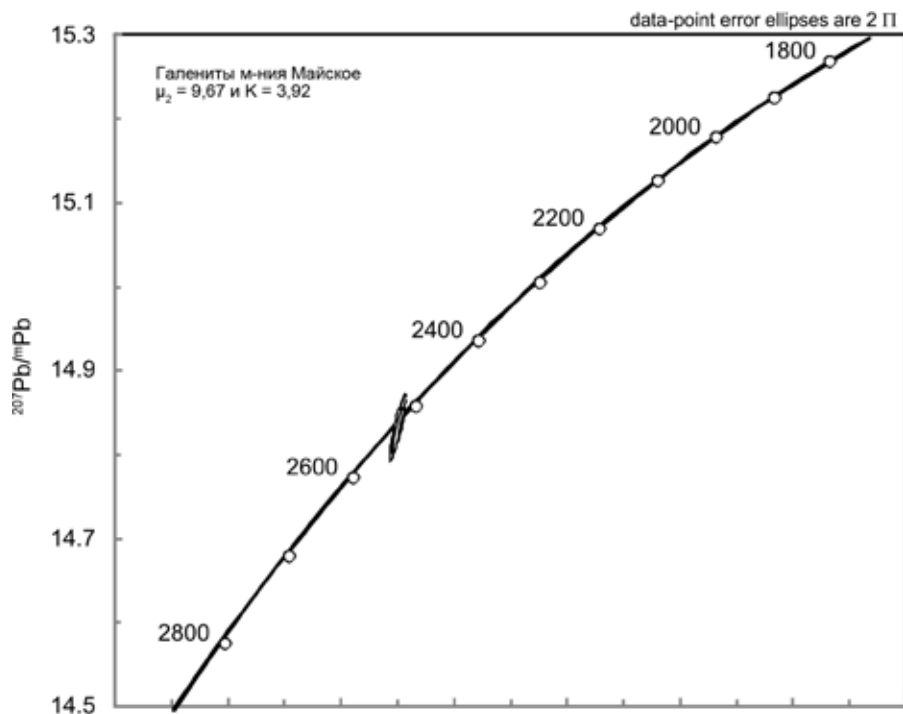


Рис. 2. Диаграмма  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  по отношению к  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  для галенитов месторождения Майское. Кривая изотопного роста свинца по модели Стейси и Крамерса [17]. Значения  $\mu_2 = 9,67$  и  $K_2 = 3,91$

в частности, щелочно-ультраосновной магматизм (массивы Вуориярви, Ковдор и ряд более мелких штоков), который, несомненно, оказал тектонометасоматическое влияние и на расположенное в этом же регионе золоторудное поле.

Вместе с этим изучение свинцово-изотопных отношений в галенитах (основном минерале-спутнике золота) показывает, что главным для свинца и золота в жильном золото кварцевом месторождении Майское был неоархейско-палеопротерозойский мантийный источник (2500–2550 млн лет), который имел большее значение для формирования сульфидного никель-платинометалльного [9], чем золоторудного оруденений. Вероятно, изначально мантийный регион Фенноскандинавского щита не был так обогащен золотом, как регионы архейских золотоносных поясов – Абитиби в Канаде, Барбертон в Южной Африке или блока Йилгарн в Западной Австралии.

Геодинамические различия четко проявлены между Свекофенскими (2,1–1,75 млрд лет) и Карельскими (2,85–2,5 млрд лет) вулканогенными поясами протерозоя Фенноскандинавского щита [6]. В первом из них оруденение золота проявлено гораздо значительнее, чем во втором, поскольку Свекофенские пояса орогенические и связаны с процессами гранитоидного магматизма и метаморфизма [18]. В Карельской группе поясов мелкие по запасам месторождения (Майское) и золоторудные проявления района Куусамо – анорогенные, связанные с активизационными рифтогенными событиями, наложенными на архейскую кору. Отсюда резкие различия в источниках рудного вещества и условиях образования этих месторождений и месторождения Майское, которые выражаются в изотопном составе свинца. Сходство изотопного состава свинца галенитов

месторождения Майское и месторождений с низкорadioгенным свинцом можно объяснить проявлением рудообразующих процессов, связанных с многоэтапной тектономагматической активизацией, выраженной также и в проявлениях многоэтапных метасоматических процессов.

Современные изотопные (Pb-Pb, Rb-Sr, K-Ar) исследования, подобные проведенным для рудного поля Майского месторождения, могут послужить открытию новых и, может быть, значимых месторождений. Это особенно актуально для площадей проявлений сульфидной минерализации, широко распространенной в Куоляярвинской структуре Северной Карелии.

Работа выполнена в рамках тем НИР № 0153-2018-0012 и № 0153-2018-0013.

1. Безруков В.И. Геолого-поисковый план участка Майский. Масштаб 1 : 5000. – Апатиты: ПГО «Севзапгеология», Центрально-Кольская комплексная геологическая экспедиция, 1988.

2. Буйко А.К., Левченко О.А., Турченко С.И. и др. Геология и изотопное датирование раннепротерозойского сумий-сариолийского комплекса Сев. Карелии // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1995. № 4. Т. 3. – С. 16–30.

3. Бушмин С.А., Беляцкий Б.В., Крымский Р.Ш. и др. Изохронный Re-Os возраст золота жильного золото-кварцевого месторождения Майское (Северная Карелия, Балтийский щит) // Докл. РАН. 2013. Т. 448. № 1. – С. 76–79.

4. Вольфсон А.А., Русинов В.Л., Крылова Т.Л. и др. Метасоматические преобразования докембрийских метабазитов Салла-Куоляярвинского грабена в районе золото-

рудного поля Майское, Северная Карелия // Петрология. 2005. Т. 18. № 2. — С. 179–206.

5. Порцкий М.С., Буйко А.К., Котов Н.В. и др. Геологическая позиция и условия формирования золоторудных метасоматитов месторождения Майское (Северная Карелия) // Вестник Санкт-Петербургского Университета. 1993. Вып. 1. Серия 7: Геология, география. — С. 15–21.

6. Ранний докембрий Балтийского щита / под ред. В.А. Глебовицкого. — СПб.: Наука, 2005. — 711 с.

7. Сафонов Ю.Г., Волков А.В., Вольфсон А. и др. Золотокварцевое месторождение Майское (Северная Карелия): геологические и минеролого-геохимические особенности, вопросы генезиса // Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45. № 5. — С. 429–451.

8. Турченко С.И., Буйко А.К., Семенов В.С. Рифтогенная природа раннепротерозойского Северокарельского пояса и его металлогеническая специализация // Геодинамика и глубинное строение советской части Балтийского щита. 1992. Т. 1. — С. 92–99.

9. Турченко С.И. Металлогения тектонических структур палеопротерозоя. — СПб.: Наука, 2007. — 175 с.

10. Browning P., Groves D.I., Blockley G. et al. Lead isotope constraints on the age and source of gold mineralization in the Archean Yilgarn block, Australia // Econ. Geol. 1987. Vol. 82. — P. 971–986.

11. Doe B.R., Stacey J.S. The application of lead isotopes to the problems of ore genesis and ore prospect evaluation: A review // Econ. Geol. 1974. Vol. 69. — P. 757–776.

12. Gavrilenko B.V., Petrashova L.S., Dain A.D. Proterozoic quartz-vein gold deposit Mayskoe in North Karelia (Russia) // Gold'99. Trondheim (abstract volume). — Norway, 1999. — P. 81–83.

13. Groves D.I., Condie K.C., Goldfarb R.J. et al. Secular changes in global tectonic processes and their influence on the temporal distribution of gold-bearing mineral deposits // Econ. Geol. 2005. Vol. 100. — P. 203–221.

14. Krogh T.E. A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determinations // Geochim. and Cosmochim. Acta. 1973. Vol. 37. — P. 485–494.

15. Manttari I. Lead isotope characteristics of epigenetic gold mineralization in the Palaeoproterozoic Lapland greenstone belt, Northern Finland // Geol. Surv. Finland. 1995. Bull. 381. — 70 p.

16. Pankka H.S., Vanhanen E.J. Early Proterozoic Au-Co-U mineralization in the Kuusamo district, northeastern Finland // Precambrian Res. 1992. Vol. 58. N 4. — P. 387–400.

17. Stacey J.R., Kramers J.D. Approximation of terrestrial lead isotopic evolution by a two-stage model // Earth and Planet. Sci. Letters. 1975. Vol. 20. — P. 207–221.

18. Sundblad K. Metallogeny of gold in the Precambrian of northern Europe / K. Sundblad, & N.J. Cook (eds.) // A group of papers devoted to the metallogeny of gold in the Fennoscandian Shield. Economic Geology. 2003. Vol. 98. N 7. — P. 1271–1290.

19. Turchenko S.I., Semenov V.S., Amelin Yu.V. et al. Early Proterozoic riftogenic belt of Northern Karelia and types of the Cu-Ni, PGE and Cu-Au mineralization // Geol. Foren. Stockholm Forh. 1991. Pt. 113. — P. 70–72.

20. Vaasjoki M. The lead isotopic composition of some Finnish galenas // Geol. Surv. Finland. 1981. Bull. 316. — 30 p.

21. Ward P., Hakonen I., Nurmi P.A. et al. Structural studies in the Lapland greenstone belt, Northern Finland and their application to gold mineralization // Geol. Surv. Finland, Special Paper 10. 1989. — P. 71–77.

22. Zartman R.E., Doe B.R. Plumbotectonics — the model // Tectonophysics. 1981. Vol. 75. — P. 135–162.

Maysky site. Scale 1 : 5000]. Apatity: PGO «Sevzapgeologiya». Central'no-Kol'skaya kompleksnaya geologicheskaya ehkspedicziya. 1988.

2. Bujko A.K., Levchenkov O.A., Turchenko S.I. i dr. Geology and isotopic dating of the Early Proterozoic Sumy-Sarioian complex of North Karelia. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyaciya*. 1995. No 4. Vol. 3, pp. 6–30. (In Russian).

3. Bushmin S.A., Belyackij B.V., Krymskij R.Sh. i dr. Isochronous Re-Os gold age of vein gold-quartz deposit Mayskoe (North Karelia, Baltic Shield). *Dokl. RAN*. 2013. Vol. 448. No 1, pp. 76–79. (In Russian).

4. Vol'fson A.A., Rusinov V.L., Krylova T.L. i dr. Metasomatic transformations of the Precambrian metabasites of the Salla-Kuolajarvinsky graben in the region of the gold ore field Mayskoe, North Karelia. *Petrologiya*. 2005. Vol. 18. No 2, pp. 179–206. (In Russian)

5. Porickij M.S., Bujko A.K., Kотов N.V. i dr. Geological position and conditions for the formation of gold ore metasomatites of the Mayskoye deposit (North Karelia). *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta*. 1993. Iss. 1. Seriya 7: Geologiya, geografiya. Pp. 15–21. (In Russian).

6. Rannij dokembrij Baltijskogo shchita [Early Precambrian of the Baltic Shield]. Ed. V.A. Glebovickij. St. Petersburg. 2005. 711 p.

7. Safonov Yu.G., Volkov A.V., Vol'fson A. i dr. Zolotokvartsevo deposit Mayskoye (North Karelia): geological and mineralogical-geochemical features, genesis issues. *Geologiya rudnyh mestorozhdenij*. 2003. Vol. 45. No 5, pp. 429–451. (In Russian).

8. Turchenko S.I., Bujko A.K., Semenov V.S. Riftogenic nature of the Early Proterozoic North-Karelian belt and its metallogenic specialization. *Geodynamics and the deep structure of the Soviet part of the Baltic Shield*. 1992. Vol. 1. Pp. 92–99. (In Russian).

9. Turchenko S.I. Metallogeniya tektonicheskikh struktur paleoproterozoya [Metallogeny of the tectonic structures of the Paleoproterozoic]. St. Petersburg. 2007. 175 p.

10. Browning, P., Groves, D.I., Blockley, G. et al. 1987: Lead isotope constraints on the age and source of gold mineralization in the Archean Yilgarn block, Australia. *Econ. Geol. Vol. 82*. 971–986.

11. Doe, B.R., Stacey, J.S. 1974: The application of lead isotopes to the problems of ore genesis and ore prospect evaluation: A review. *Econ. Geol. Vol. 69*. 757–776.

12. Gavrilenko, B.V., Petrashova, L.S., Dain, A.D. 1999: Proterozoic quartz-vein gold deposit Mayskoe in North Karelia (Russia). *Gold'99. Trondheim (abstract volume)*. Norway. 1–83.

13. Groves, D.I., Condie, K.C., Goldfarb, R.J. et al. 2005: Secular changes in global tectonic processes and their influence on the temporal distribution of gold-bearing mineral deposits. *Econ. Geol. Vol. 100*. 203–221.

14. Krogh, T.E. 1973: A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determinations. *Geochim. and Cosmochim. Acta. Vol. 37*. 485–494.

15. Manttari, I. 1995: Lead isotope characteristics of epigenetic gold mineralization in the Palaeoproterozoic Lapland greenstone belt, Northern Finland. *Geol. Surv. Finland. Bull. 381*.

16. Pankka, H.S., Vanhanen, E.J. 1992: Early Proterozoic Au-Co-U mineralization in the Kuusamo district, northeastern Finland. *Precambrian Res. Vol. 58*. 4. 387–400.

17. Stacey, J.R., Kramers, J.D. 1975: Approximation of terrestrial lead isotopic evolution by a two-stage model. *Earth and Planet. Sci. Letters. Vol. 20*. 207–221.

18. Sundblad, K. 2003: Metallogeny of gold in the Precambrian of northern Europe. In Sundblad, K. & Cook, N.J. (eds.): *A group of papers devoted to the metallogeny of gold in the Fennoscandian Shield. Economic Geology. Vol. 98*. 7. 1271–1290.

19. Turchenko, S.I., Semenov, V.S., Amelin, Yu.V. et al. 1991: Early Proterozoic riftogenic belt of Northern Karelia and types of the Cu-Ni, PGE and Cu-Au mineralization. *Geol. Foren. Stockholm Forh. Pt. 113*. 70–72.

1. Bezrukov V.I. Geologo-poiskovyj plan uchastka Majskij. Masshtab 1 : 5000 [Geological and exploration plan for the

20. Vaasjoki, M. 1981: The lead isotopic composition of some Finnish galenas. *Geol. Surv. Finland. Bull.* 316. 30 p.
21. Ward, P., Hakonen, I., Nurmi, P.A. et al. 1989: Structural studies in the Lapland greenstone belt, Northern Finland and their application to gold mineralization. *Geol. Surv. Finland, Special Paper 10.* 71–77.
22. Zartman, R.E., Doe, B.R. 1981: Plumbotronics – the model. *Tectonophysics. Vol. 75.* 135–162.

---

*Турченко Станислав Иванович* – гл. науч. сотрудник, доктор геол.-минер. наук, ИГГД РАН<sup>1</sup>. <turchsi@mail.ru>  
*Гороховский Борис Михайлович* – ст. науч. сотрудник, канд. химических наук, ИГГД РАН<sup>1</sup>. <bgorokh@mail.ru>

*Turchenko Stanislav Ivanovich* – Chief Researcher, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, IPGG RAS<sup>1</sup>. <turchsi@mail.ru>

*Gorokhovsky Boris Mihajlovich* – Senior Resrarcher, Candidate of Chemical Sciences, IPGG RAS<sup>1</sup>. <bgorokh@mail.ru>

<sup>1</sup> Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук (ИГГД РАН). Наб. Макарова, 2, Санкт-Петербург, 199034, Россия.

RAS Institute of the Precambrian Geology and Geochronology (IPGG RAS). 2 Naberezhnaya Makarova, St. Petersburg, 199034, Russia.